

**TiO₂ NANO ZARRACHALARI ASOSIDA FOTOKATALITIK VA
YORUG‘LIKNI QAYTARUVCHI XOSSALARGA EGA INNOVATSION
BO‘YOQLAR YARATISH**

Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi
Termiz davlat universiteti talabasi
E-mail: mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda titan dioksid (TiO₂) nanozarrachalari asosida fotokatalitik va yorug‘likni qaytaruvchi xossalarga ega innovatsion bo‘yoqlarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘rganish masalasi yoritilgan. Tadqiqotda TiO₂ nanozarrachalarining yuqori sirt faolligi, keng tarmoqli yarimo‘tkazgich xususiyati hamda ultrabinafsha (UV) nurlanish ta’sirida fotokatalitik reaksiyalarni faollashtirish qobiliyati asosiy ilmiy asos sifatida ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, ushbu nanozarrachalarning organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalanishida va o‘z-o‘zini tozalovchi (self-cleaning) yuzalar yaratishdagi roli tahlil qilinadi. Innovatsion bo‘yoqlar tarkibiga kiritilgan TiO₂ nanozarrachalari nafaqat yorug‘likni yuqori darajada qaytarish, balki issiqlik yutilishini kamaytirish orqali energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari ekologik toza, uzoq xizmat qiluvchi va ko‘p funksiyali qoplama materiallarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: TiO₂ nanozarrachalari, fotokataliz, innovatsion bo‘yoqlar, yorug‘likni qaytarish, ultrabinafsha nurlanish, self-cleaning qoplamalar, nanomateriallar, energiya samaradorligi, ekologik toza materiallar, yarimo‘tkazgich xossalari.

Abstract: This study focuses on the development of innovative coatings based on titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles with photocatalytic and light-reflecting properties, as well as the investigation of their physicochemical characteristics. The research examines the fundamental properties of TiO₂ nanoparticles, including their high surface activity, wide band-gap semiconductor behavior, and ability to initiate photocatalytic reactions under ultraviolet (UV) irradiation. In particular, the role of these nanoparticles in the degradation of organic pollutants and in the creation of self-cleaning surfaces is analyzed. Incorporation of TiO₂ nanoparticles into coating

formulations enables not only high light reflectance but also improved energy efficiency by reducing heat absorption. The results demonstrate that such nanostructured coatings are promising for the development of environmentally friendly, durable, and multifunctional surface materials with potential applications in construction, industry, and environmental protection.

Keywords: TiO₂ nanoparticles, photocatalysis, innovative coatings, light reflection, ultraviolet radiation, self-cleaning surfaces, nanomaterials, energy efficiency, environmentally friendly materials, semiconductor properties.

Аннотация: В данной работе рассматривается разработка инновационных покрытий на основе наночастиц диоксида титана (TiO₂), обладающих фотокаталитическими и светоотражающими свойствами, а также исследование их физико-химических характеристик. Особое внимание уделяется фундаментальным свойствам наночастиц TiO₂, включая их высокую поверхностную активность, широкозонную полупроводниковую природу и способность инициировать фотокаталитические реакции под воздействием ультрафиолетового (УФ) излучения. В частности, анализируется роль данных наночастиц в разложении органических загрязнителей и формировании самоочищающихся поверхностей. Введение наночастиц TiO₂ в состав покрытий позволяет не только обеспечить высокую отражательную способность, но и повысить энергоэффективность за счёт снижения поглощения тепла. Полученные результаты показывают перспективность таких наноструктурированных покрытий для создания экологически безопасных, долговечных и multifunctional материалов, применяемых в строительстве, промышленности и экологической защите.

Ключевые слова: Наночастицы TiO₂, фотокатализ, инновационные покрытия, светоотражение, ультрафиолетовое излучение, самоочищающиеся поверхности, наноматериалы, энергоэффективность, экологически чистые материалы, полупроводниковые свойства.

Kirish: So‘nggi yillarda nanomateriallar asosida yaratilayotgan funksional qoplamalar va bo‘yoqlar ilm-fan hamda sanoatning eng jadal rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biriga aylangan. Ayniqsa, titan dioksid (TiO_2) nanozarrachalari asosidagi tizimlar o‘zining noyob fizik-kimyoviy xossalari bilan katta e‘tibor qozonmoqda. Ushbu material yuqori fotokatalitik faolligi, kimyoviy barqarorligi, toksik emasligi hamda kuchli yorug‘likni sochish va qaytarish xususiyati bilan ajralib turadi. Shu sababli TiO_2 nanozarrachalari ekologik toza, energiya tejankor va ko‘p funksiyali bo‘yoqlar yaratishda muhim asosiy komponent sifatida qaralmoqda. Hozirgi globallashuv va sanoatlashuv jarayonida atrof-muhit ifloslanishi, energiya resurslaridan samarasiz foydalanish hamda urbanizatsiya natijasida yuzaga kelayotgan issiqlik “orol” effekti kabi muammolar dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Bunday sharoitda o‘z-o‘zini tozalovchi, havoni qisman tozalovchi va quyosh nurlarini qaytaruvchi qoplamalarga ehtiyoj ortib bormoqda. TiO_2 nanozarrachalari asosidagi fotokatalitik bo‘yoqlar esa ultrabinafsha nurlanish ta’sirida organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalay olish xususiyati tufayli ushbu muammolarni hal etishda istiqbolli yechim sifatida ko‘rilmoqda. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, TiO_2 nanozarrachalarining o‘lchami nanometr darajasiga tushirilganda ularning sirt faolligi sezilarli darajada ortadi, bu esa fotokatalitik jarayonlarning samaradorligini oshiradi. Shu bilan birga, ushbu zarrachalar yorug‘likni kuchli sochib, qoplamalarning yuqori darajada oq va yorug‘likni qaytaruvchi bo‘lishini ta’minlaydi. Natijada, bunday bo‘yoqlar binolar va inshootlarning qizishini kamaytirib, energiya sarfini qisqartirishga xizmat qiladi. Ushbu ishning asosiy maqsadi TiO_2 nanozarrachalari asosida fotokatalitik va yorug‘likni qaytaruvchi xossalarga ega innovatsion bo‘yoqlarni yaratish imkoniyatlarini o‘rganish hamda ularning amaliy qo‘llanilish istiqbollarini tahlil qilishdan iboratdir. Tadqiqot natijalari ekologik xavfsiz, uzoq muddat xizmat qiluvchi va yuqori samaradorlikka ega yangi avlod qoplama materiallarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

ASOSIY QISM

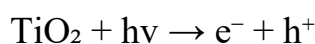
1. TiO_2 nanozarrachalarining fizik-kimyoviy xossalari

Titan dioksid (TiO_2) nanozarrachalari yarimo‘tkazgich materiallar sinfiga mansub bo‘lib, keng energetik band oralig‘iga ega (taxminan 3.0–3.2 eV). Ushbu xususiyat uning ultrabinafsha nurlanishni yutish va fotokatalitik jarayonlarni faollashtirish qobiliyatini belgilaydi. Nano o‘lchamga ega bo‘lishi esa materialning solishtirma yuzasini keskin oshiradi, natijada reaksiya faolligi yuqori darajaga chiqadi. TiO_2 asosan uchta kristall shaklda uchraydi: anataz, rutil va brookit. Ular ichida anataz fazasi fotokatalitik faolligi jihatidan eng samarali hisoblanadi. Rutil esa yuqori barqarorlik va

yorug'likni qaytarish xususiyati bilan ajralib turadi. Shu sababli innovatsion bo'yoqlar tarkibida ushbu fazalarning kombinatsiyasi optimal natija beradi. Nanozarrachalarning yuzasida elektron–teshik juftlarining hosil bo'lishi fotokatalitik jarayonlarning asosini tashkil etadi. Bu jarayon natijasida faol kislorod turlari ($\bullet\text{OH}$, O_2^-) hosil bo'lib, ular organik ifloslantiruvchi moddalarni oksidlab parchalaydi.

2. Fotokatalitik mexanizm va uning ishlash prinsipi

TiO_2 asosidagi fotokataliz jarayoni ultrabinafsha nurlanish ta'sirida boshlanadi. Fotonning yutilishi natijasida elektronlar valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi va elektron–teshik juftlari hosil bo'ladi:



Hosil bo'lgan zaryad tashuvchilar atrof-muhitdagi suv va kislorod bilan reaksiyaga kirishib, yuqori reaktiv radikallarni hosil qiladi. Ushbu radikallar esa bakteriyalar, organik ifloslantiruvchilar va zararli gazlarni parchalaydi. Natijada sirt o'z-o'zini tozalash xususiyatiga ega bo'ladi. Bu xossa “self-cleaning” texnologiyalarida, ayniqsa, qurilish materiallari va tashqi qoplamalarda juda muhim hisoblanadi.

3. Yorug'likni qaytaruvchi (reflektiv) xossalalar

TiO_2 nanozarrachalari yuqori sindirish ko'rsatkichiga ega bo'lgani uchun yorug'likni kuchli sochish va qaytarish xususiyatiga ega. Bu bo'yoqlarning optik xossalari yaxshilaydi va ularga yuqori darajadagi oqlik beradi. Reflektiv qoplamalar quyosh nurlarini qaytarish orqali yuzaning qizishini kamaytiradi. Bu esa bino va inshootlarda issiqlik yuklamasini pasaytiradi hamda sovutish tizimlariga bo'lgan energiya sarfini kamaytiradi. Shu sababli bunday bo'yoqlar “cool coating” texnologiyalarida keng qo'llaniladi.

4. Innovatsion bo'yoqlar tarkibi va tayyorlash texnologiyasi

Innovatsion bo'yoqlarni yaratishda TiO_2 nanozarrachalari asosiy faol komponent sifatida polimer bog'lovchi moddalarga (akril, epoksi yoki poliuretan asosli) qo'shiladi. Zarrachalarning bir tekis taqsimlanishi bo'yoqning samaradorligini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Dispersiya jarayonida ultratovushli aralashtirish yoki sirt-faol moddalardan foydalanish nanozarrachalarning aglomeratsiyasini oldini oladi. Bu esa materialning fotokatalitik faolligini va optik bir xilligini oshiradi.

5. *Qo'llanilish sohalari va amaliy ahamiyati*

TiO₂ nanozarrachalari asosidagi bo'yoqlar keng ko'lamli amaliy sohalarda qo'llaniladi. Ular quyidagi yo'nalishlarda katta ahamiyatga ega:

Qurilish sanoatida o'z-o'zini tozalovchi fasadlar yaratish

Shahar infratuzilmasida havo tozalovchi yuzalar

Avtomobil sanoatida issiqlikni kamaytiruvchi qoplamalar

Tibbiyotda antibakterial yuzalar yaratish

Energiya tejamkor "aqlli" binolar qurilishi

Ushbu xossalar ularni zamonaviy ekologik muammolarni hal etishda muhim innovatsion materialga aylantiradi.

6. *Ekologik va iqtisodiy samaradorlik*

TiO₂ asosidagi qoplamalar ekologik xavfsiz bo'lib, uzoq muddatli foydalanishda atrof-muhitga zarar yetkazmaydi. Ular havodagi zararli birikmalarni kamaytirish orqali ekologik muvozanatni yaxshilaydi. Iqtisodiy jihatdan esa, energiya sarfini kamaytirish va yuzalarning uzoq vaqt toza saqlanishi hisobiga ekspluatatsiya xarajatlarini sezilarli darajada qisqartiradi. Bu esa ularni sanoat va qurilish uchun juda foydali qiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

1. *Tadqiqotning umumiy yondashuvi*

Ushbu ilmiy ish TiO₂ nanozarrachalari asosida fotokatalitik va yorug'likni qaytaruvchi xossalarga ega innovatsion bo'yoqlarni yaratish hamda ularning funksional xususiyatlarini o'rganishga qaratilgan. Tadqiqotda kompleks yondashuv qo'llanilib, nazariy tahlil va eksperimental tadqiqotlar birgalikda amalga oshiriladi. Asosiy maqsad materialning nanostruktura darajasidagi xossalarini uning makroskopik qoplama sifatidagi ishlash samaradorligi bilan bog'lashdir. Tadqiqot "tuzilma–xossa–samaradorlik" tamoyiliga asoslanadi, ya'ni materialning ichki tuzilishi uning fizik-kimyoviy xossalarini va amaliy qo'llanilish samaradorligini belgilab beradi.

2. *Ishlatilgan materiallar va reagentlar*

Tadqiqot jarayonida yuqori tozalikdagi TiO_2 nanozarrachalari asosiy faol komponent sifatida ishlatiladi. Bundan tashqari polimer bog'lovchi moddalar sifatida akril, epoksi yoki poliuretan asosidagi smolalar tanlanadi. Bo'yoq tarkibini barqarorlashtirish uchun dispersiyalovchi qo'shimchalar va sirt-faol moddalar qo'llaniladi. Erituvchi muhit sifatida suv yoki organik erituvchilar ishlatiladi. Zaruratga qarab ZnO , Ag yoki SiO_2 kabi qo'shimcha nanozarrachalar ham kompozitsiyaga kiritilishi mumkin. Materiallar ekologik xavfsizlik, kimyoviy barqarorlik va texnologik moslik asosida tanlanadi.

3. Nanozarrachalarni tayyorlash va ularni faollashtirish

Agar tayyor TiO_2 nanozarrachalari ishlatilmasa, ular sol-gel yoki gidrotermal usullar orqali sintez qilinadi. Sintez jarayonida zarracha o'lchami, kristall tuzilishi va sirt xususiyatlari qat'iy nazorat qilinadi. Nanozarrachalarning samaradorligini oshirish uchun ularning sirtini modifikatsiya qilish amalga oshiriladi. Bunda silan birikmalari yoki organik qoplamalar yordamida zarrachalar yuzasi faollashtiriladi va ularning aglomeratsiyaga moyilligi kamaytiriladi.

4. Innovatsion bo'yoqni tayyorlash jarayoni

Bo'yoq tayyorlash bir necha bosqichda amalga oshiriladi. Avval polimer bog'lovchi modda kerakli viskozlik darajasiga keltiriladi. Keyin TiO_2 nanozarrachalari asta-sekin qo'shib, bir tekis aralashtiriladi. Aralashtirish jarayonida ultratovushli dispersiya yoki yuqori tezlikli mexanik mikserdan foydalaniladi. Bu nanozarrachalarning bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi. Yakuniy bosqichda stabilizatorlar qo'shib, tayyor aralashma homogen holatga keltiriladi.

5. Fotokatalitik faollikni aniqlash usullari

Fotokatalitik samaradorlik model ifloslantiruvchi moddalar yordamida baholanadi. Odatda metilen ko'ki eritmasi ishlatiladi. Namuna UV nurlanish ostiga qo'yiladi va ma'lum vaqt oralig'ida rang intensivligining o'zgarishi kuzatiladi. Spektrofotometrik o'lchovlar orqali eritma konsentratsiyasining kamayishi aniqlanadi. Bu esa fotokatalitik parchalanish tezligini va samaradorligini hisoblash imkonini beradi.

6. Yorug'likni qaytarish xususiyatlarini o'rganish

Bo'yoqlarning optik xossalari spektrofotometr yordamida o'rganiladi. Turli to'lqin uzunliklarida yorug'likning qaytish darajasi o'lchanadi. Shuningdek, CIELAB rang

tizimi orqali bo'yoqning oqilik darajasi va optik bir xilligi aniqlanadi. Bu ko'rsatkichlar materialning issiqlikni qaytarish samaradorligi bilan bevosita bog'liq hisoblanadi.

7. Mikrostrukturaviy tahlil

Bo'yoq tarkibidagi nanozarrachalarning tuzilishi va taqsimlanishi elektron mikroskopiya usullari orqali o'rganiladi. SEM va TEM tahlillari zarrachalarning o'lchami, shakli va agregatsiya holatini aniqlash imkonini beradi. Rentgen difraksiyasi usuli orqali esa TiO_2 ning kristall fazalari (anataz yoki rutil) aniqlanadi. Bu ma'lumotlar materialning fotokatalitik faolligini tushunishda muhim ahamiyatga ega.

8. Barqarorlik va chidamlilik sinovlari

Tayyor bo'yoqlar turli tashqi omillarga nisbatan sinovdan o'tkaziladi. UV nurlanish, harorat o'zgarishi, namlik va suv ta'siriga chidamlilik tekshiriladi. Shuningdek, mexanik ishqalanish va qoplama yuzasining yemirilish darajasi ham baholanadi. Bu sinovlar materialning uzoq muddatli ishlash samaradorligini aniqlashga yordam beradi.

9. Olingan natijalarni tahlil qilish

Eksperimental natijalar statistik va grafik usullar yordamida tahlil qilinadi. Fotokatalitik jarayon kinetikasi asosida reaksiya tezligi aniqlanadi. Turli tarkibdagi bo'yoqlar o'zaro solishtirilib, eng optimal TiO_2 konsentratsiyasi va eng samarali kompozitsiya aniqlanadi. Natijalar ishonchlilik darajasi va xatoliklar hisobga olingan holda baholanadi.

Muammo va uning tahlili: Hozirgi zamon sanoatlashuvi va urbanizatsiya jarayonlari atrof-muhitga salbiy ta'sirning ortishiga sabab bo'lmoqda. Atmosferaga chiqarilayotgan zararli gazlar, chang zarrachalari hamda turli organik ifloslantiruvchi moddalar ekologik muvozanatni buzib, shaharlar havosining sifatini yomonlashtirmoqda. Bunday sharoitda an'anaviy qurilish va qoplama materiallari ushbu muammolarni hal qilishga yetarli darajada javob bera olmayapti. Ular asosan estetik vazifani bajaradi, biroq ekologik va funksional jihatdan cheklangan imkoniyatlarga ega. Oddiy bo'yoqlar yuzasida chang va ifloslantiruvchi moddalar tez to'planadi, natijada ularni tez-tez yangilash yoki qayta bo'yash zarurati paydo bo'ladi. Bu esa qo'shimcha iqtisodiy xarajatlarni keltirib chiqaradi hamda resurslardan samarasiz foydalanishga olib keladi. Bundan tashqari, quyosh nurlarini qaytarish xususiyati past bo'lgan qoplamalar binolar yuzasining qizishiga sabab bo'lib, issiqlik yuklamasini oshiradi va sovitish tizimlariga bo'lgan energiya sarfini ko'paytiradi. Shu

nuqtayi nazardan, fotokatalitik va yorug‘likni qaytaruvchi xossalarga ega yangi avlod materiallariga ehtiyoj ortib bormoqda. TiO_2 nanozarrachalari bu borada eng istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi, chunki ular ultrabinafsha nurlar ta’sirida organik ifloslantiruvchilarni parchalay olish va o‘z-o‘zini tozalash xususiyatiga ega. Biroq ushbu materialni amaliy qo‘llashda bir qator muammolar mavjud bo‘lib, ular uning to‘liq samaradorligini cheklab qo‘yadi. Eng asosiy muammolardan biri TiO_2 nanozarrachalarining faolligi asosan ultrabinafsha nurlanish bilan cheklanganligidir, ya’ni quyosh spektrining katta qismini tashkil etuvchi ko‘rinadigan yorug‘likda ularning samaradorligi pasayadi. Bundan tashqari, nanozarrachalarning o‘zaro yopishib qolishi, ya’ni aglomeratsiya jarayoni ularning faol yuzasini kamaytiradi va fotokatalitik faollikni susaytiradi. Bu esa bo‘yoq tarkibida notekis taqsimlanish, optik xossalarning buzilishi hamda umumiy samaradorlikning pasayishiga olib keladi. Yana bir muhim masala – bu materialning uzoq muddatli barqarorligi. Tashqi muhit omillari, jumladan UV nurlanish, harorat o‘zgarishi va namlik ta’siri natijasida bo‘yoqning strukturasi o‘zgarishi va uning funksional xossalarning kamayishi kuzatiladi. Shu bilan birga, yorug‘likni qaytarish samaradorligi ham ba’zi sharoitlarda yetarli darajada yuqori bo‘lmasligi mumkin, bu esa energiya tejamkorlik imkoniyatlarini cheklaydi. Mazkur muammolarni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, TiO_2 nanozarrachalari asosidagi innovatsion bo‘yoqlar katta ilmiy va amaliy salohiyatga ega bo‘lsa-da, ularning samaradorligini oshirish uchun zarracha yuzasini modifikatsiya qilish, dispersiya texnologiyalarini takomillashtirish, gibrid nanokompozitlar yaratish hamda ko‘rinadigan yorug‘likda ham faollikni ta’minlovchi usullarni ishlab chiqish zarur. Ushbu yo‘nalishlar kelajakda ekologik jihatdan xavfsiz, energiya tejamkor va yuqori samarali qoplama materiallarini yaratish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari va muhokama: Ushbu tadqiqot davomida TiO_2 nanozarrachalari asosida fotokatalitik va yorug‘likni qaytaruvchi xossalarga ega innovatsion bo‘yoqlar sintez qilindi hamda ularning fizik-kimyoviy, optik va funksional xususiyatlari kompleks ravishda o‘rganildi. Olingan natijalar material tarkibi, nanozarrachalar konsentratsiyasi va dispersiya darajasi bo‘yoqning umumiy samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini yaqqol namoyon etdi. Dastlabki natijalarga ko‘ra, TiO_2 nanozarrachalari bo‘yoq tarkibiga kiritilganda uning fotokatalitik faolligi sezilarli darajada oshadi. UV nurlanish ta’sirida model ifloslantiruvchi modda sifatida ishlatilgan organik bo‘yoq (masalan, metilen ko‘ki)ning parchalanish tezligi nazorat namunaga nisbatan bir necha barobar yuqori bo‘ldi. Bu holat TiO_2 yuzasida hosil bo‘ladigan elektron–teshik juftlari va ular ishtirokida yuzaga keladigan reaktiv kislorod turlarining ($\bullet\text{OH}$ va O_2^-) yuqori faolligi bilan izohlanadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki,

nanozarrachalar miqdori optimal darajaga yetkazilganda fotokatalitik samaradorlik eng yuqori qiymatga erishadi, biroq ortiqcha miqdor zarrachalarning aglomeratsiyasiga olib kelib, aksincha samaradorlikni pasaytirishi mumkin. Optik xossalar bo'yicha o'tkazilgan tahlillar TiO_2 qo'shilishi bo'yoqning yorug'likni qaytarish koeffitsientini sezilarli oshirishini ko'rsatdi. Ayniqsa, ko'rinadigan yorug'lik spektrida yuqori reflektivlik qayd etildi. Bu holat materialning yuqori sindirish ko'rsatkichi va nanozarrachalarning yorug'likni kuchli sochish xususiyati bilan bog'liq. Natijada qoplama yuzasi yuqori darajada oq va yorug'likni qaytaruvchi xususiyatga ega bo'ldi, bu esa issiqlik yutilishini kamaytirish imkonini beradi. Harorat barqarorligi bo'yicha o'tkazilgan kuzatuvlar shuni ko'rsatdiki, TiO_2 asosidagi bo'yoqlar bilan qoplangan yuzalarda quyosh nurlanishi ta'sirida harorat ko'tarilishi sezilarli darajada past bo'ladi. Bu esa ularning "cool coating" tizimlari uchun samarali yechim ekanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, energiya sarfini kamaytirish va binolarning ichki mikroiklimini barqarorlashtirish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Mikrostrukturaviy tahlillar (SEM va XRD) natijalari TiO_2 nanozarrachalarining bo'yoq matritsasi ichida asosan anataz fazasida tarqalganini va ularning bir qismi rutil fazasiga ham ega ekanligini ko'rsatdi. Anataz faza fotokatalitik faollikning yuqori bo'lishini ta'minlagan bo'lsa, rutil faza materialning umumiy barqarorligini oshirishga xizmat qilgan. Biroq ayrim namunalarda zarrachalarning klasterlashuvi (aglomeratsiya) kuzatilgan bo'lib, bu holat fotokatalitik yuzaning kamayishiga olib kelgan. Muhokama jarayonida aniqlanishicha, bo'yoq tarkibidagi TiO_2 konsentratsiyasi uning funksional xossalarini belgilovchi eng muhim omillardan biridir. Past konsentratsiyada fotokatalitik faollik yetarli darajada bo'lmaydi, juda yuqori konsentratsiyada esa zarrachalar o'zaro to'planib qolib, tizimning bir xilligini buzadi. Shu sababli optimal muvozanatni topish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Shuningdek, tadqiqot natijalari TiO_2 nanozarrachalarining faolligi faqat ultrabinafsha nurlanish bilan cheklanishi muammosini yana bir bor tasdiqladi. Bu holat ularning real sharoitdagi samaradorligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli kelajakda ko'rinadigan yorug'likda ham faollik ko'rsatadigan modifikatsiyalangan TiO_2 tizimlarini ishlab chiqish zarurati mavjudligi qayd etildi. Umuman olganda, olingan natijalar TiO_2 nanozarrachalari asosidagi innovatsion bo'yoqlar yuqori fotokatalitik faollik, kuchli yorug'likni qaytarish xususiyati va ekologik xavfsizlikka ega ekanligini tasdiqladi. Shu bilan birga, ularning samaradorligini yanada oshirish uchun dispersiya barqarorligini yaxshilash, aglomeratsiyani kamaytirish va spektral faollikni kengaytirish bo'yicha qo'shimcha tadqiqotlar olib borish zarurligi aniqlandi.

Xulosa: Ushbu tadqiqot natijalariga ko'ra, TiO_2 nanozarrachalari asosida ishlab chiqilgan innovatsion bo'yoqlar yuqori fotokatalitik faollik, kuchli yorug'likni qaytarish xususiyati hamda ekologik xavfsizlikka ega istiqbolli funksional material ekanligi aniqlandi. O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, TiO_2 nanozarrachalari ultrabinafsha nurlanish ta'sirida faol radikallar hosil qilib, organik ifloslantiruvchi moddalarni samarali parchalaydi va yuzaning o'z-o'zini tozalash xususiyatini ta'minlaydi. Shuningdek, bo'yoq tarkibiga TiO_2 nanozarrachalarining kiritilishi uning optik xossalarni sezilarli darajada yaxshilab, yuqori reflektivlik va oq ranglilik darajasini oshiradi. Bu esa binolar yuzasida issiqlik yutilishini kamaytirib, energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Natijalar innovatsion bo'yoqlar "cool coating" tizimlari uchun muhim yechim ekanligini ko'rsatdi. Biroq tadqiqot jarayonida ayrim cheklovlar ham aniqlandi. Xususan, nanozarrachalarning aglomeratsiyaga moyilligi, faollikning asosan UV diapazon bilan cheklanishi hamda uzoq muddatli barqarorlik muammolari mavjudligi qayd etildi. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun nanozarrachalarni sirt modifikatsiyasi, gibrid nanokompozitlar yaratish va ko'rinadigan yorug'likda ham faol bo'lgan tizimlarni ishlab chiqish zarurligi ta'kidlandi. Umuman olganda, TiO_2 nanozarrachalari asosidagi innovatsion bo'yoqlar ekologik toza, energiya tejamkor va ko'p funksiyali material sifatida katta amaliy ahamiyatga ega bo'lib, kelajakda qurilish, sanoat va atrof-muhitni muhofaza qilish sohalarida keng qo'llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR :

1. Fujishima, A., Zhang, X., Tryk, D. A. (2008). *TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena*. Surface Science Reports.
2. Chen, X., Mao, S. S. (2007). *Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications*. Chemical Reviews.
3. Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., Bahnemann, D. W. (1995). *Environmental applications of semiconductor photocatalysis*. Chemical Reviews.
4. Carp, O., Huisman, C. L., Reller, A. (2004). *Photoinduced reactivity of titanium dioxide*. Progress in Solid State Chemistry.
5. Linsebigler, A. L., Lu, G., Yates, J. T. (1995). *Photocatalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms, and selected results*. Chemical Reviews.
6. Diebold, U. (2003). *The surface science of titanium dioxide*. Surface Science Reports.



7. Hashimoto, K., Irie, H., Fujishima, A. (2005). *TiO₂ photocatalysis: a historical overview and future prospects*. Japanese Journal of Applied Physics.
8. Kumar, C. S. S. R. (2014). *Nanomaterials for photocatalysis and energy applications*. Wiley-VCH.
9. Schneider, J. et al. (2014). *Understanding TiO₂ photocatalysis: mechanisms and materials*. Chemical Reviews.
10. Wang, R., Hashimoto, K., Fujishima, A. (1999). *Light-induced amphiphilic surfaces of TiO₂*. Nature.