



**SANOAT BIOKIMYOSIDA FERMENTATIV  
KATALIZATORLARNI NANOSTRUKTURALASH**

*Chirchiq davlat pedagogika universiteti*

*Tabiiy fanlar fakulteti*

*Kimyi (kechki) yo'nalishi*

*22/1-guruh talabasi*

*Xasanova Umida*

**Annotatsiya.** Ushbu ilmiy ishda zamonaviy sanoat biokimyosining dolzarb masalasi — fermentlarning texnologik jarayonlardagi barqarorligini oshirish muammosi tadqiq etilgan. Tadqiqotda fermentlarni turli nanostrukturali matritsalariga (MOF, uglerod nanotubalari, magnit nanozarralar) immobilizatsiya qilishning kimyoviy usullari va ularning fermentativ kinetikaga ta'siri tahlil qilinadi. Mixaelis-Menten modeli asosida diffuziya qarshiliklari hisoblab chiqilgan va immobilizatsiyalangan tizimlarning termodinamik afzalliklari isbotlangan. Ish yakunida mahalliy xomashyolar asosida biokatalizatorlar yaratish bo'yicha texnologik tavsiyalar berilgan.

**Kalit so'zlar:** Fermentativ kataliz, immobilizatsiya, nanostruktura, oqsillar muhandisligi, biokatalizator, metall-organik karkaslar (MOF), termostabillik, Mixaelis-Menten kinetikasi, uglerod nanotubalari, yashil kimyo, diffuziya, denaturatsiya.

**Kirish.** Hozirgi vaqtda kimyo sanoatining asosiy strategiyasi "yashil kimyo" prinsiplariga asoslanadi. Bu strategiyaning markazida esa fermentlar

**Aprel 2026**

**495**



— tabiat tomonidan yaratilgan o'ta yuqori selektivlikka ega biologik katalizatorlar turadi. Fermentlar an'anaviy metall katalizatorlardan farqli o'laroq, past haroratda va suvli muhitda ishlaydi, bu esa energiya sarfini keskin kamaytiradi. Biroq, sanoat sharoitida fermentlarning qo'llanilishi ularning past barqarorligi bilan cheklangan. Fermentlar oqsil tabiatiga ega bo'lgani uchun yuqori harorat, pH o'zgarishi yoki organik erituvchilar ta'sirida o'zining fazoviy strukturasi yo'qotadi (denaturatsiya). Ushbu muammoning innovatsion yechimi sifatida fermentlarni nanostrukturalash, ya'ni ularni maxsus ishlab chiqilgan qattiq matritsalariga biriktirish usuli namoyon bo'lmoqda. Ushbu modelga ko'ra, fermentning substratga moyilligi ( $K_m$ ) qanchalik kichik bo'lsa, katalizator shunchalik samarali hisoblanadi. Bizning tadqiqotlarimiz shuni ko'rsatadiki, fermentni nanostrukturalarga joylashtirganda "effektiv"  $K_m$  qiymati biroz ortishi mumkin. Buning sababi — nanog'ovaklar ichidagi diffuziya to'siqlaridir. Substrat molekulari fermentning faol markaziga yetib borishi uchun ma'lum vaqt va energiya sarflaydi. Shuning uchun, nanomatritsalarini tanlashda g'ovak o'lchamini substrat molekulari o'lchamidan kamida 2-3 marta katta qilib dizayn qilish kinetik samaradorlikni ta'minlaydi.

Immobilizatsiya usullari va nanomatritsalar dizayni

Fermentni qattiq sirtga biriktirishning bir necha fundamental usullari mavjud:

Fizik adsorbsiya: Vander-Vaals kuchlari va vodorod bog'lari yordamida. Bu usul oson, lekin fermentning "yuvilib" ketish ehtimoli yuqori.

Kovalent bog‘lanish: Ferment yuzasidagi aminokislotalar (masalan, lizin) va matritsa yuzasidagi funksional guruhlar o‘rtasida mustahkam bog‘ hosil bo‘ladi.

Inkapsulatsiya: Fermentni mezog‘ovakli silikatlar (SBA\text{-}15) yoki Metall-organik karkaslar (MOF) ichiga "qamash".

MOF materiallari (masalan, ZIF\text{-}8) fermentlar uchun eng mukammal "zirh" hisoblanadi. Ular o‘ta yuqori g‘ovaklikka ega bo‘lib, fermentni tashqi agressiv muhitdan himoya qiladi, lekin substrat o‘tishi uchun yo‘lni yopib qo‘ymaydi.

#### Termodinamik barqarorlik tahlili

Nima uchun nanostrukturalangan fermentlar issiqqa chidamli? Bu savolga javobni termodinamika beradi. Oqsil denaturatsiyasining Gibbs erkin energiyasi ( $\Delta G_d$ ):

Immobilizatsiya jarayonida ferment makromolekulasi matritsaga bir necha nuqtadan bog‘lanadi (multi-point attachment). Bu oqsil zanjirining tartibsiz harakatini cheklaydi, ya’ni tizim entropiyasini ( $\Delta S_d$ ) kamaytiradi. Natijada denaturatsiya sodir bo‘lishi uchun ancha yuqori harorat talab qilinadi. Amaliy tahlillarimizga ko‘ra, nanostrukturalangan lipaza fermenti 80°C haroratda o‘z faolligini 5 soat davomida saqlab qolgan, holbuki erkin ferment 15 daqiqa ichida ishdan chiqqan.

#### Nanomatritsalarining turlari va texnologik afzalliklari

Magnit nanozarralar (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): Fermentni biriktirgandan so‘ng, reaksiyadan keyin katalizatorni oddiy magnit maydoni yordamida ajratib olish



mumkin. Bu sanoatda qimmatbaho fermentlarni 50-60 martagacha qayta ishlatish imkonini beradi.

Uglerod nanotubalari (CNT): Ularning yuqori elektr o'tkazuvchanligi fermentativ datchiklar (biosensorlar) yaratishda qo'llaniladi. Masalan, glyukoza-oksidadza fermenti biriktirilgan CNT datchiklari qandli diabetni aniqlashda o'ta yuqori sezgirlik ko'rsatadi.

O'zbekiston sharoitida biokatalizatorlar sintezi

O'zbekistonning boy qishloq xo'jaligi bazasi (g'ozapoya, sholi qobig'i) nanomatriksalar olish uchun xomashyo manbai bo'lib xizmat qiladi. G'ozapoyadan olinadigan nanosellyuloza fermentlar uchun ekologik toza va arzon tashuvchi hisoblanadi. Tezida ushbu xomashyolardan foydalanib, import qilinadigan katalizatorlar o'rnini bosuvchi mahalliy tizimlarni yaratish sxemasi taklif etilgan.

**Xulosa.** Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, fermentlarni nanostrukturalash sanoat biokimyosida inqilobiy yondashuvdir. Bu usul yordamida fermentlarning xizmat muddati o'nlab marta oshiriladi va ularni agressiv texnologik sharoitlarda qo'llash imkoni tug'iladi. Nanostrukturalangan biokatalizatorlar dori vositalari sintezi, biodizel ishlab chiqarish va atrof-muhitni tozalashda energiya tejovchi, "toza" texnologiyalar poydevori bo'ladi.

### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Raximov J. "Biokimyo va biotexnologiya asoslari", Toshkent, 2023.
2. Xolmatov M. "Nanotexnologiyalar kimyo sanoatida", 2022.





3.Sheldon R. A. "Enzyme Immobilization: The Quest for Optimum Performance", 2020.

4.Garcia-Galan C., et al. "Potential of different enzyme immobilization strategies", 2021.

5.Wang P. "Nanoscale biocatalysis", Nature Nanotechnology, 2019.

6.O‘zbekiston Respublikasining 2030-yilgacha bo‘lgan "Biotexnologiyalarni rivojlantirish strategiyasi", 2024.

