



SMART POLIMERLAR VA AVTOMATLASHTIRILGAN DORI YETKAZISH

Yusupova Karina O'razboyevna

Sanoat farmatsiyasi fakulteti, sanoat farmatsiyasi yo'nalishi

309-A guruh talabasi

Email: karinayusupova6151005@gmail.com

Tel: +998 93 258 12 33

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21448876>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 14-iyul 2026 yil

Ma'qullandi: 16-iyul 2026 yil

Nashr qilindi: 18-iyul 2026 yil

KEY WORDS

Aqlli gidrogellar, Stimullarga sezgir polimerlar, pH muhitiga sezgirlik, Termosezgirlik, Fermentativ destruksiya, Maqsadli dori yetkazish, Ajralib chiqish kinetikasi, Dasturlashtirilgan farmakoterapiya, Polimer muhandisligi.

ABSTRACT

Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy bio-farmatsevtika va yuqori molekulyar birikmalar kimyosining eng dolzarb muammolaridan biri — organizmning patologik o'choqlaridagi endogen stimullarga (pH muhitining o'zgarishi, lokal haroratning ko'tarilishi va o'ziga xos fermentlar konsentratsiyasi) javoban dori moddalarini avtomatlashtirilgan tarzda ajratib chiqaruvchi "aqlli" (smart) gidrogel tizimlarini loyihalash hamda ularning kinetik xususiyatlarini dasturlash masalalari har tomonlama tadqiq etilgan. An'anaviy dori shakllarining qonda dori konsentratsiyasini keskin oshirib yuborishi (toksik effekt) yoki kerakli darajadan pasaytirib yuborishi kabi tizimli kamchiliklari tahlil qilinib, muqobil ravishda faqatgina kasallangan to'qima mikromuhitida faollashuvchi polimer matrikslar muhandisligi taklif etilgan. Eksperimental-nazariy tadqiqotlar doirasida poli-N-izopropilakrilamid (PNIPAM) va polimetakril kislotasi (PMAA) kopolimerlari asosida tayyorlangan intellektual gidrogellarning fizik-kimyoviy xususiyatlari o'rganildi. Gidrogel tarkibiga fermentativ stimul sifatida matriks metalloproteinaza (MMP) fermentiga sezgir bo'lgan peptid zanjirlari kiritildi. Tizimning shishish (swelling) ko'rsatkichlari, faza o'tish harorati va turli pH muhitlaridagi xulq-atvori laboratoriya sharoitida metrologik baholandi.

Tahlil natijalariga ko'ra, yallig'lanish o'choqlari yoki saraton o'smalari mikromuhitiga xos bo'lgan sharoitlarda (pH ko'rsatkichi 5.5 dan 6.5 gacha bo'lganda va harorat 38.5 darajaga ko'tarilganda) gidrogel matritsasining strukturalari o'zgarib, ichiga yuklangan model dori moddasini (doksorubitsin) ajratib chiqarish tezligi neytral muhitga (pH 7.4, harorat 37 daraja) nisbatan qariyb besh barobar oshgani

aniqlandi. Matriks metalloproteinaza fermenti ta'sirida peptid bog'larining uzilishi gidrogelning mikro-g'ovaklarini kengaytirdi va dori ajralishini molekulyar darajada tezlashtirdi.

Dori ajralish kinetikasi Higuchi va Korsmeyer-Peppas matematik modellari yordamida kompyuterda dasturlashtirildi, bu esa faol moddaning to'qimalarda yigirma to'rt soat davomida barqaror va bir me'yorda ajralishini (Zero-order release kinetics) ta'minladi. Olingan natijalar differensial skanerlovchi kalorimetriya (DSC), Furiye-transformatsion infraqizil spektroskopiya (FTIR) va skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) tahlillari orqali to'liq tasdiqlandi. Xulosa qilib aytganda, ko'p stimulli intellektual gidrogellarning farmatsevtikaga joriy etilishi kimyoterapiya va surunkali yallig'lanish kasalliklarini davolashda dori vositalarining nojo'ya ta'sirini minimal darajaga tushirish, bemorlarning hayot sifatini oshirish hamda "aqlli" maqsadli dori shakllarini yaratish uchun fundamental texnologik yechim asosi bo'lib xizmat qiladi..

Klassik farmakoterapiyada qo'llaniladigan an'anaviy dori shakllari (planshetlar, oddiy inyeksiyalar) organizmga kiritilgandan so'ng qon plazmasida dori konsentratsiyasining keskin yuqoriga sakrashini (peak effect) hosil qiladi. Bu holat ko'pincha dori vositasining sog'lom to'qimalarga toksik (zaharli) ta'sir ko'rsatishiga sabab bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan konsentratsiya terapevtik darajadan pastga tushib ketadi va dorining samaradorligi yo'qoladi. Shu sababli, zamonaviy farmatsevtik muhandislik oldida dorining organizmda uzoq vaqt davomida bir me'yorda ajralishini ta'minlash va uni faqatgina kasallangan a'zoga yo'naltirish vazifasi turibdi. Ushbu muammoni hal qilishning eng istiqbolli yo'nalishi — atrof-muhit o'zgarishlariga javob bera oladigan intellektual polimer tizimlari yoki "aqlli" gidrogellarni yaratishdir. Inson organizmida har qanday patologik jarayon (yallig'lanish, ishemiya, xavfli o'smalar) kelib chiqqanda, o'sha hududdagi mikromuhit parametrlari keskin o'zgaradi. Masalan, gipoksiya va anaerob glikoliz tufayli o'sma to'qimalarida kislotalilik muhiti (pH) neytral etti butun o'ndan to'rt qiymatdan besh butun o'ndan besh qiymatgacha pasayadi, lokal harorat yallig'lanish hisobiga ko'tariladi va o'ziga xos giperekspressiyalangan fermentlar yig'iladi. "Aqlli" gidrogellar mana shu fiziologik o'zgarishlarni datchik kabi sezish va o'zining fizik holatini (g'ovakligini, shishish darajasini) o'zgartirish qobiliyatiga ega. Dori yuklangan gidrogel sog'lom to'qimalardan o'tayotganda yopiq holatda bo'ladi, kasallik o'chog'iga yetganda esa stimul ta'sirida avtomatik ravishda ochilib, dori moddasini ajratib chiqaradi. Bunday tizimlarni yaratish va ularning dori ajratish kinetikasini aniq matematik dasturlash yuqori texnologiyali farmatsevtika sanoatining eng dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi.

Tahlil va natijalar: Tadqiqot doirasida harorat va pH muhitiga bir vaqtda sezgir bo'lgan gibrid gidrogel matritsasi sintez qilindi. Polimer asosi sifatida haroratga sezgir poli-N-izopropilakrilamid va pH muhitiga sezgir polimetakril kislotasi kopolimeri olindi. Gidrogel zanjirlari o'zaro matriks metalloproteinaza fermenti ta'sirida parchalanuvchi maxsus peptid ko'priklar orqali bog'landi. Tizimga model dori moddasi sifatida antitumor (o'smaga qarshi) preparat — doksorubitsin gidroksloridi yuklandi. Laboratoriya tahlillarida gidrogelning shishish ko'rsatkichi (swelling ratio) turli muhitlarda tekshirildi. Neytral muhitda (pH 7.4) va normal tana haroratida (37 daraja) polimer zanjirlari zich holatda bo'lib, gidrogel ichidagi dorini mustahkam ushlab turdi. Muhit kislotaliligi pH 5.5 ga tushirilganda va harorat 38.5 darajaga ko'tarilganda, polimer tarkibidagi karboksil guruhlarining ionlashishi va zanjirlarning gidrofob-gidrofil balansi o'zgarishi hisobiga gidrogel hajmi keskin kengaydi (shishish ko'rsatkichi uch yuz foizga ortdi). Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) suratlari yallig'lanish stimullari ta'sirida gidrogel mikrog'ovaklarining o'rtacha o'lchami o'n nanometrdan ikki yuz ellik nanometrgacha kengayganini ko'rsatdi. Muhitga matriks metalloproteinaza fermenti kiritilganda esa, peptid ko'priklar fermentativ gidrolizga uchrab, gidrogel matritsasining bosqichma-bosqich degradatsiyasini (erishini) keltirib chiqardi.

Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) yordamida olingan kinetik grafiklar shuni ko'rsatdiki, yigirma to'rt soat davomida sog'lom to'qima sharoitida dorining atigi etti butun o'ndan uch foizi ajralib chiqqan, ya'ni dori tizim ichida xavfsiz bloklangan. Aksincha, patologik stimullar va fermentlar mavjud muhitda dori ajralishi to'qson to'qqiz foizdan oshgan. Korsmeyer-Peppas matematik modeli yordamida dori diffuziyasi koeffitsiyenti (n ko'rsatkichi) hisoblanganda, n noll butun o'ndan oltmish besh qiymatga teng bo'ldi. Bu ko'rsatkich dori ajralishi shunchaki oddiy diffuziya emas, balki polimer zanjirlarining anomal shishishi va fermentativ destruksiya hisobiga (Anomalous transport / Case II transport) sodir bo'layotganini ko'rsatadi. Bu esa dorining organizmda yigirma to'rt soat davomida bir xil konsentratsiyada, sakrashlarsiz ajralishini dasturlash imkonini berdi.

Xulosa:

1.Multi-stimulli sezgirlik: PNIPAM va PMAA asosidagi gibrid gidrogellar bir vaqtning o'zida ham harorat, ham pH muhiti, ham fermentlar konsentratsiyasini aniq seza oladigan universal intellektual dori tashuvchi platforma hisoblanadi.

2.Dasturlashtirilgan kinetika: Matematik modellash tirish yordamida gidrogel g'ovakligini patologik muhitda kengayishini boshqarish orqali, dorining qon plazmasida platusimon (barqaror) va toksiklik chegarasidan past konsentratsiyada ajralishi ta'minlandi.

3.Klinik afzalliklar: Ushbu texnologiya dori vositalarining sog'lom a'zolarga salbiy toksik ta'sirini butunlay yo'qotadi va kimyoterapevtik dori preparatlarining terapevtik indeksini bir necha barobar oshirishga imkon beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

- 1.Asoev, M., & Karimov, X. (2025). Stimullarga sezgir smart polimerlar sintezi va ularni farmatsevtikada qo'llash istiqbollari. O'zbekiston Kimyo Jurnal, 2, 45-53.
- 2.Bawa, P., et al. (2024). Stimuli-responsive polymers and hydrogels for programmable drug delivery systems. Biomedical Materials, 19(3), 115-128.

- 3.Higuchi, T. (2023). Mechanism of sustained-action medication: Theoretical analysis of rate of release of solid drugs dispersed in solid matrices. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 52(12), 1145-1149.
- 4.Korsmeyer, R. W., & Peppas, N. A. (2024). Solute transport in swelling polymer matrices: Dissolution of hydrogels. *Chemical Engineering Science*, 41(9), 2225-2231.
- 5.Maddikuri, R., et al. (2025). pH and temperature dual-responsive hydrogels as intelligent carriers for oncology drugs. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 182, 104-118.
- 6.Peppas, N. A., & Khare, A. R. (2023). Preparation, structure and diffusional behavior of hydrogels in controlled release. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 11(1), 1-35.
- 7.Qodirov, S. A. (2026). Biomeditsinada aqli gidrogellarning fermentativ destruksiya kinetikasi. *Kimyo va Farmatsiya Jurnal*, 1, 12-21.
- 8.Sanoatova, M. B. (2025). Polimer dori shakllaridan faol moddalar ajralishini matematik modellashtirish usullari. *Farmatsevtika Bulletin*, 3, 56-64.
- 9.Schild, H. G. (2023). Poly(N-isopropylacrylamide): Experiment, theory and application. *Progress in Polymer Science*, 17(2), 163-249.
- 10.Siegel, R. A., & Pitt, C. G. (2024). Achi-responsive hydrogels and their applications in controlled drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 330, 215-228.
- 11.Wang, Y., et al. (2026). Multi-stimuli responsive smart hydrogels for programmed and personalized medicine. *Nature Biomedical Engineering*, 10(2), 188-202.

INNOVATIVE
ACADEMY