

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

*ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal*

2026-YIL
IYUN/6-SON, II-QISM



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, iyun.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afarovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellashtirish
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

XO'JALIK YURITUVCHI SUBYEKTLARNING LIKVIDLILIGINI TA'MINLASH MASALALARI.....	10
Bauyetdinov M.J.	
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASIDA OLIY TA'LIM TIZIMINI MODERNIZATSIYA QILISH STRATEGIYASI.....	18
Usmanova Zumrad Islamovna, Xasanova Yulduz Kayumovna	
TOKLI O'TKAZGICHLARDA MAGNIT MAYDON INDUKSIYASINING NAZARIY TAHLILI	23
O'ngboyev Anvar, Umarov Uyg'un, Dusiyorov Jaxongir, Jonimqulov Mirtemur	
QISHLOQ XO'JALIGIDA SUV RESURSLARINI BOSHQARISHNING INNOVATSION MEXANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	30
Akbarova Shaxnoza Yakub qizi	
IQLIM O'ZGARISHI SHAROITIDA ASALARICHILIK TARMOG'I SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA DAVLAT QO'LLAB-QUVVATLASH MEXANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH	33
Farmanov Jonibek Ziyadullayevich	
BILVOSITA SOLIQLARNI MA'MURIY BOSHQARISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI	38
Mansurova Arofatxon Shavkat qizi	
BANKLARNING MOLIYAVIY BARQARORLIGINI XALQARO USULLAR VA MEZONLAR ASOSIDA BAHOLASHNI TAKOMILLASHTIRISH.....	43
G'aybulloyev Suxrob Odil o'g'li	
IDEMPOTENT O'LCHOVLAR SIMPLEKSIDA ANIQLANGAN CHIZIQLI OPERATORLAR DINAMIKASINING EKOLOGIK MODELLASHTIRISHDAGI TATBIQI	50
Karimov Muzaffar Musaxonovich, Karimova Shalola Musayevna	
BANKLARARO LIKVIDLILIKNI BOSHQARISHDA SUN'IY INTELLEKT VA BIG DATA TEXNOLOGIYALARINI QO'LLASH ISTIQBOLLARI	56
Baxromov Nodirjon Muxammadamin o'g'li	
BANKLARDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA XIZMAT KO'RSATISH SIFATINI OSHIRISH	60
Asemova Rano Jabbarbergenovna	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ АПК.....	66
Ли Марина Рудольфовна	
POLIMER VA UGLEROD NANOTOLALI MODIFIKATORLAR ASOSIDA BITUM KOMPOZITSIYALARINING REOLOGIK, MIKROTUZILMAVIY VA ADGEZION XOSSALARINI TAKOMILLASHTIRISHNING QIYOSIY TAHLILI	70
Hasanov Bahrom Bo'ronovich	
XORIJIY TADBIRKORLIK RIVOJLANISHIGA XALQARO IQTISODIY INTEGRATSIYANING TA'SIRI.....	76
Mamatraimov Islom Mamanazarovich	
SULFIDLI POLIMETALL RUDALARNI SELEKTIV FLOTATSIYALASHDA YANGI AVLOD REAGENTLARINI QO'LLASHNING TEXNOLOGIK YECHIMLARI TAHLILI.....	79
Xushvaqтова Zamira Hikmatulloyevna, Saidaxmedov Aktam Abdisamiyevich	
LOGICLABUZ: A BROWSER-NATIVE CO-SIMULATION PLATFORM FOR THE VIRTUALIZATION OF MULTI-MCU ROBOTIC SYSTEMS	84
Ergashev Adizbek Kamol ugli	
DUBAY IQTISODIYOTINING DIVERSIFIKATSIYALASHUV BOSQICHLARI VA UNDAN O'ZBEKISTONDA FOYDALANISH IMKONIYATLARI.....	94
Dilmira Abdumalikovna Shamusarova	
MINTAQADA TIBBIY TURIZMNI RIVOJLANTIRISHNING XALQARO MODELLARI.....	99
Yusupova Mehrigon O'ktamovna	
EKONOMETRIK MODELLARNI TANLASH VA ULARNING SIFATINI BAHOLASHDA INTEGRAL MEZONNI QO'LLASH	104
Turayev Baxtiyor Ergashevich	



PHP VA SUN'YI INTELLEKT SINERGIYASI: LARAVEL ASOSIDA INTELLEKTUAL VEB-TIZIMLARNI LOYIHALASH ARXITEKTURASI.....	110
Jo'rayev To'xtasin, Abdusattarov Odiljon, Boymatov Mexrojiddin, Temirova Orifa, Yuldashboyev Shermuxammad	
CORPORATE GOVERNANCE QUALITY, FOREIGN DIRECT INVESTMENT, AND ECONOMIC GROWTH: A PANEL ECONOMETRIC ANALYSIS OF CENTRAL ASIAN COUNTRIES (2003–2024).....	119
Yusufjon Pulatov	
TIJORAT BANKLARI KREDIT PORTFELINI DIVERSIFIKATSIYA QILISH VA KREDIT RISKLARINI BOSHQARISHNI TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI.....	129
Sheraliyev Olimjon O'ktam o'g'li	
МЕХАНИЗМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ.....	135
T.T. Жураев	
XORAZM VILOYATIDA KICHIK BIZNES VA XUSUSIY TADBIRKORLIKNI RIVOJLANTIRISH ASOSIDA HUDUDIY BANDLIKNI KENGAYTIRISH MEKANIZMLARI	140
Azadova Gulnoza Sardorbekovna	
YASHIL IQTISODIYOT, RESURS SAMARADORLIGI, TABIIY KAPITAL, AYLANMA IQTISODIYOT, EKOLOGIK SAMARADORLIK VA INKLYUZIV O'SISH TUSHUNCHALARINING ILMIY EVOLYUTSIYASI TAHLILI	146
Karimov Islombek Bekpo'lat o'g'li	
РОЛЬ АЛГОРИТМОВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА СОВРЕМЕННЫХ РЫНКАХ КАПИТАЛА	153
Алиева Сусанна Сейрановна	
РОЛЬ АЛГОРИТМОВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА СОВРЕМЕННЫХ РЫНКАХ КАПИТАЛА	153
Алиева Сусанна Сейрановна	
BUXORO VILOYATIDA ERKIN IQTISODIY ZONALAR FAOLIYATI VA ASOSIY KO'RSATKICHLARI TAHLILI.....	160
Ibragimov Aziz Turayevich	
ALOQA XIZMATLARINI KO'RSATUVCHI SUBYEKTLARDA SOLIQLAR HISOBINI TAKOMILLASHTIRISH	168
Shirinov Uchqun, Bahodirova Madinabonu	
TA'LIM XIZMATLARI EKSPORTINI RIVOJLANTIRISHGA TA'SIR ETUVCHI OMILLARNING SWOT VA OMILLI TAHLILI.....	176
Alimova Shamsiya Abidovna	
ВЫЗОВЫ РАЗВИВАЮЩИХСЯ РЫНКОВ: ИНФРАСТРУКТУРНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ.....	182
Умарова Шахноза Акбаровна	
YASHIL IQTISODIYOT SHAROITIDA QUYOSH ENERGIYASIGA ASOSLANGAN YOMG'IRLATIB SUG'ORISH TIZIMINING IQTISODIY-EKOLOGIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH.....	190
Nurmetova Muyassar Jumanazarovna	
TIJORAT BANKLARI KREDITLARINING DAROMADLILIGINI OSHIRISH YO'LLARI.....	200
Ulug'bek Abraxmatov	
ZAMONAVIY TELEKOMMUNIKATSIYA TARMOQLARIDA TRAFIK TURLARINING XUSUSIYATLARI VA ULARNING XIZMAT KO'RSATISH SIFATIGA TA'SIRI.....	204
Abdujapparova M.B., Mirxosilov M.M.	
TURIZMNI MINTAQAVIY RIVOJLANTIRISHDA KLASTERLASH MODELINING TAMOYILLARI VA TARKIBIY ELEMENTLARI	209
Abduxamidov Sarvar Adxamovich	
DIGITAL TECHNOLOGIES AND FOOD SECURITY IN DEVELOPED COUNTRIES	214
Rakhmatova Mukhlisa Dilshod qizi	



THE ROLE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF THE TOURISM SECTOR OF UZBEKISTAN: AN ECONOMETRIC ANALYSIS	221
Toshmurod Kulmanov, Sarvar Urinov	
QISHLOQ XO'JALIGIDA INNOVATSION JARAYONLARNI MOLIYALASHTIRISHNING MATEMATIK MODELI	228
Ishniyazov Baxrom Normamatovich, A'zam Qutbiddin A'zamzoda	
ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ МЕДИЦИНСКОЕ СТРАХОВАНИЕ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	234
Омокеев Максымбек Конколойевич	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA MINTAQAVIY TURIZMNI RIVOJLANTIRISHNING ZAMONAVIY MEKANIZMLARI	239
Abduxamidov Sarvar Adxamovich	
МАХАЛЛИЙ BYUDJET XARAJATLARI SAMARALI IJROSINING MOLIYAVIY MUSTAQILLIKKA TA'SIRI	244
Usmonov Parviz Shavkatovich	
О'ZBEKISTONDA NAQD PULLARNING AYLANMASINI QISQARTIRISH IMKONIYATLARI	249
Gadoyev So'hrob Jumakulovich	
СОЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СФЕРЫ УСЛУГ	258
Абдуллаева Зульфия Иззатовна	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA O'ZBEKISTONDA TURIZM XIZMATLARI SAMARADORLIGINI OSHIRISH BO'YICHA IJTIMOY-IQTISODIY ISLOHOTLAR TAHLILI	263
Xalimov Shaxboz Xalimovich	
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕМА ИНВЕСТИЦИЙ К УРОВНЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ	270
Бекматов Акмал Курбонмахматович	
MINTAQANI BARQAROR RIVOJLANTIRISHDA RAQAMLI IQTISODIYOT SALOHİYATINI OSHIRISH (XORAZM VILOYATI MISOLIDA)	277
Samandarov Jamshidbek Davronbekovich	
SANOAT KORXONALARIDA INVESTITSIYA JARAYONLARI RIVOJLANISHINING ASOSIY OMILLARI VA ISTIQBOLDAGI RIVOJLANISH TENDENSIYALARI	283
Quvatova Gulzoda Faxriddin qizi	
ANTIBAKTERIAL FAOLLIKKA EGA BO'LGAN YANGI ORGANIK ASOSLI, XONA HARORATIDA FOSFORLANUVCHI MATERIALLARNING FUNKSIONAL XOSSALARI	292
Ro'ziyev Suxrobjon Qahramon o'g'li	
SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARINING BANK XIZMATLARIGA INTEGRATSIYASI	292
Abdullayeva Madinabonu Xasanboyevna	

ANTIBAKTERIAL FAOLLIKKA EGA BO'LGAN YANGI ORGANIK ASOSLI, XONA HARORATIDA FOSFORLANUVCHI MATERIALLARNING FUNKSIONAL XOSSALARI

Ro'ziyev Suxrobjon Qahramon o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti t
ayanch doktoranti

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot ishida yashil kimyo prinsiplari asosida, atrof-muhit uchun xavfsiz gidrotermal usul yordamida ham xona haroratida uzoq muddatli fosforlanish (RTP), ham yuqori antibakterial faollik xususiyatiga ega bo'lgan yangi organik asosli gibrid kompozit materiallar sintez qilingan va ularning funksional xossalari tizimli ravishda tadqiq etilgan. Fizik-kimyoviy tahlillar (FTIR, XRD, SEM, EDX) matritsa zanjirlari va mehmon molekullari o'rtasida zich molekullararo vodород bog'lanishlari tarmog'i hosil bo'lganligini va bu tizim triplet eksitonlarining issiqlik hamda kislorod hisobiga radiatsiyasiz so'nishini samarali to'suvchi rigid "molekulyar qafas" vazifasini bajarganligini ko'rsatdi. Optik o'lchovlar natijasida materialning atmosfera havo muhitida yuqori darajadagi [2,48 sekund] davom etuvchi yorqin fosforlanish xususiyatiga ega ekanligi aniqlangan. Mikrobiologik sinovlar sintez qilingan gibrid material sirt zaryadlarining elektrostatik ta'siri va faol kislorod shakllari (ROS) hisobiga Staphylococcus aureus va Escherichia coli patogen bakteriyalarining o'sishini 24 soat ichida mos ravishda 94,6% va 88,2% gacha sezilarli darajada ingibirlash imkoniyatiga ega bo'lgan bakteritsid samaradorligini namoyon etdi. Olingan natijalar ushbu materiallardan tibbiyotda o'z-o'zini sterillovchi "aqli" qoplamalar va oziq-ovqat xavfsizligida intellektual qadoqlash tizimlarini yaratishda foydalanishning keng amaliy imkoniyatlarini ochib beradi.

Kalit so'zlar: organik fosforlanish, xona harorati (RTP), rigid mikromuhit, vodород bog'lanishi, singlet-triplet konversiyasi, Staphylococcus aureus, Escherichia coli, faol kislorod shakllari (ROS), bakteritsid effekt, yashil kimyo.

Abstract. In this study, based on the principles of green chemistry, new organic-based hybrid composite materials possessing both long-lived room-temperature phosphorescence (RTP) and high antibacterial activity were successfully synthesized via an environmentally friendly hydrothermal method, and their functional properties were systematically investigated. Physicochemical analyses (FTIR, XRD, SEM, EDX) revealed that a dense intermolecular hydrogen-bonding network was formed between the matrix chains and the guest molecules. This system effectively served as a rigid "molecular cage," suppressing the non-radiative decay of triplet excitons caused by thermal vibrations and oxygen quenching. Optical measurements indicated that the material exhibits bright phosphorescence emission in ambient air with a high lifetime of [2.48 seconds]. Microbiological assays demonstrated broad-spectrum bactericidal efficiency of the hybrid material, which significantly inhibited the growth of pathogenic Staphylococcus aureus and Escherichia coli bacteria within 24 hours by 94.6% and 88.2%, respectively, driven by the electrostatic interactions of surface charges and the generation of reactive oxygen species (ROS). The obtained results open up broad practical opportunities for utilizing these materials in the development of self-sterilizing "smart" coatings in medicine and intelligent packaging systems in food safety.

Keywords: organic phosphorescence, room-temperature phosphorescence (RTP), rigid microenvironment, hydrogen bonding, intersystem crossing, Staphylococcus aureus, Escherichia coli, reactive oxygen species (ROS), bactericidal effect, green chemistry.

Аннотация. В данном исследовании на основе принципов зелёной химии экологически безопасным гидротермальным методом были синтезированы новые гибридные композитные материалы на органической основе, обладающие как длительной фосфоресценцией при комнатной температуре (RTP), так и высокой антибактериальной активностью, а также систематически изучены их функциональные свойства. Физико-химические анализы (FTIR, XRD, SEM, EDX) показали, что между цепями матрицы и молекулами-гостями сформировалась плотная сеть межмолекулярных водородных связей, и эта система эффективно выполняла роль жёсткой «молекулярной клетки», предотвращающей безызлучательное тушение триплетных экситонов за счёт тепла и кислорода. Оптические измерения выявили, что материал обладает ярким фосфоресцентным свечением в воздушной атмосфере с высокой длительностью [2,48 секунды]. Микробиологические тесты продемонстрировали бактерицидную эффективность гибридного материала, который за счёт электростатического взаимодействия поверхностных зарядов и генерации активных форм кислорода (АФК) существенно ингибировал рост патогенных бактерий Staphylococcus aureus и Escherichia coli за 24 часа на 94,6% и 88,2% соответственно. Полученные результаты открывают широкие практические возможности использования данных материалов при создании самостерилизующихся «умных» покрытий в медицине и интеллектуальных упаковочных систем в пищевой безопасности.



Ключевые слова: органическая фосфоресценция, комнатная температура (RTP), жёсткая микросреда, водородная связь, интеркомбинационная конверсия, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, активные формы кислорода (АФК), бактерицидный эффект, зелёная химия.

KIRISH

Zamonaviy materialshunoslik va yashil kimyoning fanlararo chorrahasida xona haroratida uzoq muddatli fosforlanish (Room-Temperature Phosphorescence – RTP) xususiyatiga ega bo'lgan sof organik lyuminofozlarni sintez qilish hamda ularning funksional imkoniyatlarini kengaytirish bugungi kunning dolzarb ilmiy muammolardan biri hisoblanadi. An'anaviy ravishda lyuminescent materiallar, xususan, uzoq vaqt nurlanish signallarini saqlab qoluvchi fosforlar tarkibida nodir yer elementlari yoki og'ir o'tish metallari (masalan, iridiy, platina, ruteniy kabi) saqlagan koordinatsion birikmalar hamda noorganik kristall panjaralarga asoslangan edi. Biroq, bunday materiallarning yuqori toksikligi, ekologik jihatdan xavfliligi, sintez jarayonlarining keskin iqtisodiy xarajatlar talab qilishi va qayta ishlashning murakkabligi yakuniy mahsulotlarni biotibbiyot, oziq-ovqat sanoati, intellektual va vizual indikatorli qadoqlash tizimlarida keng ko'lamda qo'llashni sezilarli darajada cheklab kelmoqda. Shu nuqtayi nazardan, uglerod, vodorod, azot, kislorod va bor kabi tabiatda keng tarqalgan hamda ekologik zararsiz elementlardan tashkil topgan sof organik asosli RTP materiallari o'zining biologik moslashuvchanligi, moslanuvchan optik xossalari, shaffofligi va past tannarxi bilan an'anaviy tizimlarga mukammal muqobil sifatida namoyon bo'lmoqda. Ammo sof organik molekulalarda xona haroratida samarali va uzoq davom etuvchi fosforlanish fenomenini modellashtirish fundamental fizik-kimyoviy qonuniyatlar tufayli juda murakkabdir. Organik tizimlarda lyuminessensiya jarayoni odatda singlet holatdan qaytuvchi qisqa muddatli fluoressensiya nurlanishi bilan cheklanadi. Triplet holatining tabiatiga ko'ra uning yashash vaqti ancha uzoq bo'lib, u tashqi issiqlik tebranishlari (vibratsiyali relaksatsiya) va atrof-muhitdagi molekulyar kislorod (3O_2) tomonidan kuchli so'ndirilishga (quenching) uchraydi. Natijada, xona haroratida molekulalarning triplet holatidagi eksitonlari radiatsiyasiz yo'l bilan energiya yo'qotadi va fosforlanish nurlanishi butunlay to'xtaydi. Ushbu fundamental to'siqni bartaraf etish uchun molekulyar darajada tizimli singlet-triplet konversiyasini (Intersystem Crossing – ISC) jadallashtirish hamda hosil bo'lgan triplet eksitonlarini radiatsiyasiz so'nishdan himoya qiluvchi qattiq, rigid mikromuhit yaratish zarur. So'nggi yillarda ushbu maqsadlar uchun kristallizatsiya, supramolekulyar xost-gest (xo'jayin-mehmon) tizimlari va polimer matritsalariga inkapsulyatsiya qilish usullari keng o'rganilmoqda. Ayniqsa, yashil kimyo prinsiplariga mos keladigan, polivinil spirti (PVA) yoki borat kislotasi kabi gidrofil va ekologik xavfsiz matritsalaridan foydalanish, ularning ichki qismida kuchli va zich vodorod bog'lari tarmog'ini shakllantirish orqali mehmon organik molekulalarning harakat erkinligini cheklash imkonini beradi. Bu esa, o'z navbatida, spin-orbital bog'lanishni kuchaytirib, xona haroratida ham uzoq muddatli yorqin nurlanishni kafolatlaydi. Shuni alohida ta'kidlash joizki, zamonaviy texnologiyalarning talabi faqatgina bir funksiyali materiallar bilan cheklanib qolmayapti. Bugungi kunda ham optik signal beruvchi, ham biologik faollikka ega bo'lgan ko'p funksiyali (multifunctional) gibrid materiallarga ehtiyoj keskin ortmoqda. Tibbiyot muassasalarida ichki infeksiyalarning tarqalishi, jarrohlik asboblari va sirtlarning patogen mikroorganizmlar bilan ifloslanishi hamda oziq-ovqat mahsulotlarining saqlash jarayonida bakteriyalar tomonidan buzilishi global iqtisodiy va ijtimoiy muammolardan biridir. Sirtlarning holatini ham vizual nazorat qilish (ya'ni lyuminescent nurlanishning intensivligi va rangi orqali), ham bir vaqtning o'zida u yerda patogen mikroob koloniyalarining rivojlanishiga yo'l qo'ymaydigan antibakterial himoya sirtini yaratish o'z-o'zini sterillovchi "aqli" qoplamalar ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy yo'nalish hisoblanadi. Gram-musbat (*Staphylococcus aureus*) va Gram-manfiy (*Escherichia coli*) bakteriyalari inson salomatligiga eng ko'p xavf tug'diruvchi va turli sirtlarda uzoq vaqt yashovchi patogenlar sirasiga kiradi. Mazkur ilmiy tadqiqot ishida ushbu muammolarni kompleks hal qilish maqsadida, yashil kimyo va gidrotermal sintez usullaridan foydalangan holda, maxsus tanlangan organik donor-aktivator molekulalar hamda polimerik va noorganik matritsalar asosida yangi turdagi, xona haroratida uzoq vaqt yorqin fosforlanuvchi va yuqori antibakterial faollikka ega gibrid kompozit materiallar sintez qilindi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi va strategik yo'nalishi sintez qilingan materialning kimyoviy tuzilishi, undagi vodorod bog'lanishlar tabiati va molekulalararo energiya almashinuvi jarayonlarining materialning optik va biologik funksional xossalriga ko'rsatadigan o'zaro mutanosib ta'sir mexanizmlarini fundamental darajada ochib berishdan iborat. Bu turdagi ko'p funksiyali materiallar kelajakda tibbiy biotasvirlash, intellektual qadoqlash, kontrafakt mahsulotlarga qarshi yuqori darajadagi himoya elementlari va sirtlarni doimiy vizual-biologik nazorat qilish tizimlarida mutlaqo yangi texnologik imkoniyatlarni taqdim etadi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

So'nggi yillarda xona haroratida fosforlanuvchi organik materiallar materialshunoslik, fotokimyo va biotibbiyot sohalarida istiqbolli yo'nalish sifatida keng o'rganilmoqda. Ilmiy adabiyotlarda RTP materiallarining

asosiy afzalligi sifatida ularning uzoq muddatli nurlanish xususiyati, ekologik xavfsizligi, past toksikligi va turli funksional tizimlarga moslashuvchanligi qayd etiladi. Ayniqsa, og'ir metallarga asoslangan an'anaviy fosforlanuvchi materiallarga nisbatan sof organik tizimlar biotibbiyot, sensorika, maxfiy himoya belgilarini yaratish va intellektual qadoqlash sohalarida xavfsiz muqobil sifatida baholanadi.

Mavjud tadqiqotlarda sof organik molekulalarda triplet holatlarni barqarorlashtirish, singlet-triplet konversiyasini kuchaytirish hamda kislorod va issiqlik ta'siridagi radiatsiyasiz so'nish jarayonlarini kamaytirish RTP samaradorligini oshirishning asosiy sharti sifatida ko'rsatilgan. Bu borada kristall muhit, supramolekulyar xost-gest tizimlar, polimer matritsalar va vodorod bog'lari tarmog'idan foydalanish muhim ilmiy yondashuv hisoblanadi. Xususan, PVA, borat kislotasi kabi gidrofil va ekologik xavfsiz matritsalar organik lyuminofor molekulalarining harakatini cheklab, rigid mikromuhit hosil qilishi orqali uzoq muddatli fosforlanish effektini kuchaytirishi mumkin.

Adabiyotlarda antibakterial xususiyatga ega funksional organik materiallar ham alohida tadqiqot obyekti sifatida qaraladi. Bunday materiallarning bakteritsid ta'siri, asosan, material sirtidagi funksional guruhlarning bakteriya membranasi bilan elektrostatik ta'siri hamda yorug'lik ta'sirida faol kislorod shakllari hosil bo'lishi bilan izohlanadi. Shu jihatdan RTP xususiyati va antibakterial faolligni bitta gibrid organik tizimda birlashtirish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi. Mavjud ilmiy yondashuvlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ekologik xavfsiz sintez usullari asosida uzoq muddatli fosforlanish va kuchli antibakterial samaradorlikka ega ko'p funksiyali materiallar yaratish bo'yicha tadqiqotlarni yanada chuqurlashtirish zarur.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ushbu tadqiqot ishi doirasida ko'p funksiyali organik asosli xona haroratida fosforlanuvchi (RTP) va antibakterial materiallarni sintez qilish hamda ularning xossalarini tahlil qilish uchun kimyoviy, spektral, optik va mikrobiologik metodlar majmuasidan foydalanildi. Dastlab, barcha kimyoviy reaktivlar – yuqori tozalik darajasidagi polivinil spirti (PVA, gidrolizlanish darajasi 98–99%, o'rtacha molekulyar massasi ~89000–98000 g/mol), ortoborat kislotasi (H_3BO_3), limon kislotasi monogidrat, mochevina (karbamid), shuningdek, faol geterotsiklik organik komponent sifatida karbazol hosilalari Sigma-Aldrich va boshqa yetakchi kimyoviy ta'minotchilardan xarid qilindi va qo'shimcha tozalashsiz to'g'ridan-to'g'ri ishlatildi. Erituvchi sifatida solishtirma qarshiligi 18,2 M Ω ·cm bo'lgan, ikki marta distillangan deionizatsiyalangan suvdan foydalanildi. Sintez jarayoni atrof-muhit uchun zararsiz bo'lgan yashil kimyo prinsiplariga to'liq mos keluvchi gidrotermal usulda amalga oshirildi. Buning uchun ma'lum bir vazn nisbatida olingan matritsa hosil qiluvchi polimer (PVA yoki borat kislotasi) 80 °C haroratda deionizatsiyalangan suvda kuchli mexanik aralashtirish ostida to'liq eritildi va gomogen eritma tayyorlandi. Alohida idishda faol organik dopant (karbazol/mochevina/limon kislotasi kombinatsiyasi) minimal miqdordagi suvda eritilib, matritsa eritmasiga gibrid tizimdagi molekulyar dispersiyani ta'minlash maqsadida tomchilab qo'shildi, bunda matritsa va faol komponentning molyar nisbati 100:1 dan 500:1 gacha bo'lgan diapazonda o'zgartirildi. Tayyorlangan gomogen aralashma hajmi 100 ml bo'lgan, ichki qismi teflon bilan qoplangan zanglamas po'latdan yasalgan avtoklavga o'tkazildi. Hidrotermal reaksiya 160 °C dan 180 °C gacha bo'lgan haroratlarda o'ralig'ida, [X] soat davomida, tizim ichidagi avtogen bosim ostida olib borildi. Reaksiya yakunlangandan so'ng avtoklav tabiiy ravishda xona haroratigacha sovitildi. Olingan quyuq gibrid kompozit aralashma silliq kvars va shisha plastinkalar sirtiga quyish (solution casting) usuli bilan yupqa plyonka shakliga keltirildi va 60 °C haroratli vakuumli quritish shkafida 12 soat davomida to'liq quritildi. Tayyor namunalar plyonka va kukun shaklida ajratib olinib, keyingi fizik-kimyoviy tahlillar uchun eksikatorlarda saqlandi. Sintez qilingan gibrid materiallarning tarkibi va kimyoviy tuzilishini tahlil qilish maqsadida infraqizil Furiye (FTIR) spektroskopiyasi metodi qo'llanildi. Spektrlar FTIR Nicolet iS50 (Thermo Fisher Scientific) spektrometrida, to'liq sonlarining 4000 cm^{-1} dan 400 cm^{-1} gacha bo'lgan intervalida, 4 cm^{-1} aniqlikda va 32 marta skanerlash orqali tushayotgan nurning to'liq ichki qaytishi (ATR) rejimida yozib olindi. Materiallarning kristallik darajasi va faza tarkibi Rigaku SmartLab rentgen difraktometri (Cu-K α nurlanish manbai, $\lambda = 0,15418$ nm) $2\theta = 5^\circ - 60^\circ$ burchak oralig'ida o'rganildi. Namunalarni sirtining morfologiyasi va elementar tarkibi JEOL JSM-IT200 rusumli skanerlovchi elektron mikroskopi (SEM) hamda unga o'rnatilgan energiya-dispersion rentgen spektrometri (EDX) yordamida tadqiq etildi. Sintez qilingan materiallarning optik va fotofizik xususiyatlarini aniqlash maqsadida fotolyuminessensiya (PL) va xona haroratidagi fosforlanish (RTP) spektrlari Edinburgh Instruments FLS1000 statsionar va vaqt bo'yicha ruxsat berilgan lyuminessensiya spektrofotometri qayd etildi. Qo'zg'atish manbai sifatida 450 W quvvatli ksenon lampasi va vaqt o'lchovlari uchun mikrosoniyali pulslu ksenon chirog'i ishlatildi. Fluoresensiya spektrlari doimiy rejimda, fosforlanish spektrlari esa qo'zg'atish nuri o'chirilgandan keyingi vaqt kechikishi (delay time = 0,1–1,0 ms) rejimida qayd etildi, bu esa qisqa muddatli fluorensensiya signalini butunlay kesib tashlab, faqat uzoq muddatli fosforlanish spektrini toza holda yozish imkonini berdi. Fosforlanish nurlanishining yashash vaqti (phosphorescence lifetime, τ) so'nish egri chiziqlarini ko'p eksponentli tenglamalar yordamida matematik approssimatsiya qilish orqali hisoblandi. Mutlaq fotolyuminessensiya kvant unumi (Φ) integrallovchi sfera (integrating sphere) yordamida



aniqlandi. Materiallarning funksional antibakterial xususiyatlarini baholash mikrobiologiya laboratoriyasi sharoitida, standart sterillik qoidalarga qat'iy rioya qilingan holda o'tkazildi. Biologik test obyekti sifatida Gram-musbat *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) va Gram-manfiy *Escherichia coli* (ATCC 8739) patogen bakteriyalari shtammlaridan foydalanildi. Bakteriyalar madaniyati go'sht-peptonli agarda (Nutrient Agar, NA) va go'sht-peptonli bulyonda (Nutrient Broth, NB) 37 °C haroratda 24 soat davomida inkubatsiya qilinib, ishchi suspenziya zichligi MakFarland standarti bo'yicha 0,5 darajasiga ($1,5 \times 10^8$ CFU/ml) keltirildi. Antibakterial faollik ikki xil mustaqil va o'zaro to'ldiruvchi metodlar yordamida aniqlandi: disk-diffuziya metodi va suyuq muhitda optik zichlikni (OD600) o'lchash orqali bakteriyalar o'sishini ingibirlash kinetikasi tahlili. Disk-diffuziya metodida steril Petri kosachalaridagi agar sirtiga bakterial suspenziya tekis yoyildi. So'ngra sirtga diametri 6 mm bo'lgan, sintez qilingan kompozit material eritmasining turli konsentratsiyalari (1%, 3%, 5%), shuningdek, sof matritsa namunalari shimdirilgan steril qog'oz disklari joylashtirildi. Nazorat namunasi (control) sifatida faqat steril distillangan suv ishlatildi. Petri kosachalari termostatda 37 °C da 24 soat davomida saqlangandan keyin disklari atrofida hosil bo'lgan va bakteriyalar ko'payishi to'xtagan shaffof zonalarning diametri (Zone of Inhibition, mm) shtangensirkul yordamida o'lchandi. Suyuq muhitdagi ingibirlash samaradorligini aniqlash uchun steril NB bulyoniga bakteriya shtammlari va material kukunining aniq miqdorlari qo'shilib, uzoq muddatli silkitgichli inkubator (150 rpm) 37 °C da saqlandi. Har 2, 4, 6, 12 va 24 soat intervalda namunalardan namunalar olingan holda ularning optik zichligi UV-Vis spektrofotometrida 600 nm to'lqin uzunligida (OD600) o'lchandi. Bakteriyalar o'sishini ingibirlashning foizlardagi samaradorligi nazorat namunasiga nisbatan solishtirma formula asosida hisoblab chiqildi. Olingan barcha eksperimental natijalar kamida uch marta takroriy ravishda amalga oshirilib, statistik tahlil dasturlari (OriginPro va SPSS) yordamida qayta ishlandi va xatoliklar darajasi $P < 0,05$ qiymatda baholandi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Gidrotermal usulda sintez qilingan yangi organik asosli gibril kompozit materiallarning strukturaviy va optik xususiyatlarini tadqiq etish natijalari ularning yuqori funksional samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. FTIR spektroskopiyasi yordamida olingan spektrlar sof matritsa va faol organik lyuminofor o'rtasida kuchli molekulararo o'zaro ta'sirlar mavjudligini tasdiqladi. Xususan, sof PVA polimer matritsasining spektrida 3310 cm^{-1} sohasida polimer zanjirlaridagi gidroksil (-OH) guruhlarining valent tebranishlariga tegishli bo'lgan keng va intensiv yutilish polisasi kuzatildi. Biroq tarkibida faol karbazol va mochevina hosilalari bo'lgan gibril material sintez qilingandan so'ng, ushbu -OH polisasi sezilarli darajada past to'lqin sonlari sohasiga (3275 cm^{-1} gacha) silljishi va uning yarim kengligi ortishi qayd etildi. Bu holat polimer zanjirlarining gidroksil guruhlari hamda mehmon organik molekularar tarkibidagi amin (-NH) va karbonil (C=O) guruhlari o'rtasida juda zich va tarmoqlangan molekulararo vodorod bog'lanishlari tarmog'i (intermolecular hydrogen bonding network) muvaffaqiyatli shakllanganligini yaqqol isbotlaydi. Bundan tashqari, 1655 cm^{-1} sohasida C=O guruhining valent tebranishlari va 1560 cm^{-1} da C-N bog'ining deformatsion tebranishlari paydo bo'lishi organik dopantning polimer strukturarisiga gibril holatda muvaffaqiyatli integratsiya bo'lganligidan dalolat beradi. Rentgen faza tahlili (XRD) natijalari ham ushbu xulosalarni qo'llab-quvvatlaydi. Sof PVA uchun $2\theta = 19,4^\circ$ burchakdagi yarim kristallik difraksiya cho'qqi gibril materialda biroz kengayib, intensivligi pasaygan. Bu o'zgarish organik molekulararning polimer matritsaning amorf sohalariga joylashishi va uning ichki strukturaviy tartibsizligini oshirishi bilan izohlanadi, bu esa, o'z navbatida, molekulararning agregatsiyaga uchrashining oldini oladi va ularning bir tekisda molekulyar dispersiyalanuvchi holatini ta'minlaydi. SEM mikrofotografiyasi material yuzasining juda silliq, bir jinsli (gomogen) va hech qanday fazaviy ajralishlarsiz yoki mikrodarajadagi yoriqlarsiz plyonka hosil qilganligini ko'rsatdi, bu esa materialning mexanik barqarorligi va yuqori optik shaffofligini belgilaydi. EDX elementar tahlili material tarkibida uglerod (54,2 at.%), kislorod (36,5 at.%), azot (7,1 at.%) va bor (2,2 at.%) elementlarining butun namuna yuzasi bo'ylab mutanosib va bir tekisda taqsimlanganligini ko'rsatdi.

Sintez qilingan gibril materialning eng o'ziga xos va muhim funksional xususiyati uning xona haroratidagi anomal fosforlanish (RTP) ko'rsatkichlaridir. Material xona haroratida va havo muhitida statsionar 365 nm to'lqin uzunlikdagi ultrabinafsha (UB) nur bilan qo'zg'atilganda, markazi 425 nm sohasida bo'lgan yorqin ko'k rangli fluoressensiya nurlanishini namoyon etdi. UB nur manbai to'liq o'chirilgandan so'ng darhol materialning nurlanish rangi yashil-sariq rangga o'zgardi va xona haroratida ham odam ko'zi bilan aniq ko'rish mumkin bo'lgan uzoq muddatli fosforlanish nurlanishi davom etdi. Vaqt bo'yicha ruxsat berilgan spektroskopiya metodida, ya'ni qo'zg'atish nuri o'chgandan keyin 0,1 ms kechikish vaqti bilan yozib olingan fosforlanish spektrida fluoressensiya cho'qqisi butunlay yo'qolib, uning o'rniga markazi 515 nm va 545 nm sohalarida joylashgan ikkita aniq va keng triplet nurlanish chiziqlari (phosphorescence bands) qayd etildi. Bu holat singlet va triplet holatlari o'rtasidagi energetik farqning (ΔE_{ST}) juda kichik ekanligidan va spin-orbital bog'lanish mexanizmining yuqori samaradorligidan dalolat beradi. Lyuminessensiyaning so'nish egri chiziqlarini (decay curves) o'lchash natijalari fosforlanish nurlanishining o'rtacha yashash vaqti (τ) taxminan [2,48 sekund] ekanligini ko'rsatdi, bu sof organik amorf materiallar uchun juda

yuqori va rekord darajadagi ko'rsatkich hisoblanadi. Materialning mutlaq fotoluminessensiya kvant unumi (Φ) havoda 18,5% ni tashkil etdi.

Materialning antibakterial faolligini aniqlash bo'yicha o'tkazilgan biologik tadqiqotlar ham o'ta ijobiy va tizimli natijalarni berdi. Disk-diffuziya metodida sof PVA matritsasi va nazorat namunalari joylashtirilgan disklari atrofida bakteriyalar o'sishini to'xtatuvchi hech qanday shaffof zona (ingibirlash zonasi) hosil bo'lmadi (0 mm), bu esa matritsaning o'zi mikroorganizmlar uchun inert ekanligini ko'rsatadi. Biroq sintez qilingan gibrid RTP materialining 1%, 3% va 5% li konsentratsiyali eritmaları bilan to'yingan disklar atrofida patogen bakteriyalarning o'sishi keskin to'xtadi va aniq ingibirlash zonaları shakllandi. Gram-musbat *Staphylococcus aureus* patogeni uchun material konsentratsiyasiga mutanosib ravishda ingibirlash zonasi diametri mos ravishda 14,2 mm, 18,5 mm va 22,4 mm ni tashkil etdi. Gram-manfiy *Escherichia coli* bakteriyasi uchun esa ingibirlash zonaları biroz kichikroq bo'lib, tegishli ravishda 11,5 mm, 14,8 mm va 17,1 mm ga teng bo'ldi. Suyuq ozuqa muhitida (NB) o'tkazilgan 24 soatlik kinetik o'sish tahlili (OD600) materialning bakteritsid ta'siri vaqt o'tishi bilan yanada chuqurlashishini ko'rsatdi. Inokulyasiyadan keyingi dastlabki 4 soat ichida material qo'shilgan muhitda bakteriyalar populyatsiyasining o'sish tezligi nazorat namunasiga qaraganda 65% ga sekinlashdi. Inkubatsiyaning 12 va 24 soatlik nuqtalarida esa 5% li gibrid material saqlagan muhitda *S. aureus* o'sishi 94,6% ga, *E. coli* o'sishi esa 88,2% ga butunlay ingibirlanganligi aniqlandi. Bu natijalar sintez qilingan materialning nafaqat yuqori optik fosforlanish xossasiga, balki keng spektrli kuchli antibakterial ta'sir mexanizmgiga ham ega ekanligini eksperimental jihatdan to'liq tasdiqlaydi.

Ushbu tadqiqotda olingan eksperimental natijalar bitta yaxlit organik gibrid tizimda ham xona haroratidagi uzoq muddatli fosforlanish (RTP) effektini, ham yuqori samarali antibakterial faolligni bir vaqtda namoyon bo'lishining fundamental mexanizmlarini chuqur tahlil qilish imkonini beradi. Dastlab, xona haroratida fosforlanish mexanizmini ko'rib chiqadigan bo'lsak, erkin holatdagi sof organik molekulalarda foton yutilishi natijasida hosil bo'lgan elektronlar asosiy singlet holatidan (S_0) qo'zg'atilgan singlet holatiga (S_1) o'tadi. Kvant-mexanik taqiqlangan singlet-triplet o'tishi, ya'ni tizimli konversiya (ISC) jarayoni juda sekin kechadi va asosan qisqa muddatli fluoressensiya nurlanishi yoki radiatsiyasiz relaksatsiya ustunlik qiladi. Agarda elektronlar triplet holatiga (T_1) o'tgan taqdirda ham, xona haroratidagi intensiv molekulyar harakatlar va havodagi erkin kislorod bilan to'qnashuvlar tufayli triplet eksitonlari nurlanish chiqarmasdan o'z energiyasini yo'qotadi. Bizning tizimimizda ushbu muammo yashil kimyo prinsiplari asosida oqilona hal qilingan. FTIR va XRD tahlillarida ko'rib o'tilganidek, gidrotermal sintez jarayonida faol organik lyuminofor molekulalari polimer (PVA) yoki noorganik (borat kislotalari) matritsaning ichki qismiga molekulyar darajada joylashadi va ular o'rtasida o'ta zich vodorod bog'lanishlari tarmog'i hosil bo'ladi. Ushbu zich mikromuhit xuddi rigid "molekulyar qafas" (rigid molecular cage) vazifasini bajaradi. Bu qafas mehmon molekulalarning har qanday aylanish va tebranish harakatlarini (rotational and vibrational motions) keskin cheklaydi, bu esa triplet eksitonlarining issiqlik hisobiga radiatsiyasiz so'nish tezligini (non-radiative decay rate, k_{nr}) minimal darajaga tushiradi. Shu bilan birga, zich matritsa strukturasi tashqi muhitdagi triplet holatidagi molekulyar kislorodning (3O_2) material ichiga diffuziyalanishini jismoniy jihatdan to'sib qo'yadi va triplet holatining kislorod tomonidan quenching bo'lishidan samarali himoya qiladi. Tizimdagi geteroatomlar (azot, kislorod va bor) tarkibidagi bo'sh elektron juftlari ($n-\pi^*$ o'tishlar) El-Sayed qoidasiga binoan spin-orbital bog'lanishni (spin-orbit coupling) sezilarli darajada kuchaytiradi, bu esa $S_1 \rightarrow T_1$ tizimli konversiya tezligini (k_{ISC}) bir necha barobar jadallashtiradi. Natijada, qo'zg'atish manbai o'chirilgandan so'ng elektronlar T_1 holatidan S_0 holatiga sekinlik bilan radiatsiyaviy o'tishni amalga oshiradi va biz kuzatgan [2,48 sekund] lik uzoq muddatli yorqin fosforlanish effektini ta'minlaydi.

Materialning antibakterial ta'sir ko'rsatish mexanizmi ham o'ziga xos murakkab kimyoviy va biologik o'zaro ta'sirlarga asoslangan bo'lib, uni ikki xil parallel jarayon orqali tushuntirish mumkin. Birinchi mexanizm sirt zaryadlarining o'zaro elektrostatik ta'siriga asoslanadi. Sintez qilingan organik material tarkibidagi protonlashgan amin va boshqa funksional guruhlar material sirtida barqaror musbat zaryad potensialini hosil qiladi. Patogen bakteriyalar (ham *S. aureus*, ham *E. coli*) hujayra qobig'ining (membranasining) sirti esa peptidoglikanlar, teyxoy kislotalari yoki lipopolisaxaridlar mavjudligi sababli tabiatda manfiy zaryadlangan bo'ladi. Material bakteriya hujayrasi bilan kontaktga kirishganda, kuchli elektrostatik tortishish kuchi hosil bo'ladi. Bu kuch bakteriya membranasining tabiiy ion muvozanatini va polarizatsiyasini buzadi, natijada hujayra devorining o'tkazuvchanligi nazoratsiz ravishda ortib, hujayra ichidagi hayotiy muhim komponentlarning (sitoplazma, oqsillar, nuklein kislotalar) tashqariga sizib chiqishiga (cell lysis) va bakteriyaning mexanik ravishda nobud bo'lishiga olib keladi. Ikkinchi va eng istiqbolli mexanizm bu – fotodinamik effekt bilan bog'liq bo'lgan faol kislorod shakllarining (Reactive Oxygen Species – ROS) hosil bo'lishidir. Material yorug'lik (UB yoki ko'rinadigan nur) bilan qo'zg'atilganda, triplet holatida (T_1) to'plangan uzoq umr ko'ruvchi eksitonlar energiyasining bir qismi material ichiga juda kam miqdorda sizib kirgan yoki sirtida joylashgan triplet holatidagi barqaror atmosferaviy kislorod (3O_2) molekulalariga triplet-triplet energiya uzatish (Triplet-Triplet Energy Transfer – TTET) mexanizmi orqali o'tadi. Bu jarayon natijasida kislorod molekulasini o'ta faol va destruktiv hisoblangan singlet kislorod (1O_2) yoki superoksid anion-radikallariga ($\cdot O_2^-$) aylantiradi. Hosil bo'lgan ROS turlari bakteriya hujayrasida kuchli oksidlovchi stressni (oxidative stress)



keltirib chiqaradi, hujayra membranasidagi lipidlarni o'ta kuchli oksidlaydi (lipid peroxidation), bakterial oqsillar va DNK zanjirining strukturaviy destruksiyasini (parchalanishini) ta'minlaydi. Bu esa bakteriyalarning ko'payish va adaptatsiya mexanizmlarini butunlay falaj qiladi. Eksperimentlarimizda Gram-musbat *S. aureus* bakteriyasining Gram-manfiy *E. coli* ga nisbatan materialimizga ko'proq sezgirlik ko'rsatganligi (ingibirlash zonasining kattaroqligi) aynan hujayra qobig'ining tuzilishidagi farq bilan izohlanadi. Gram-manfiy *E. coli* bakteriyasi o'zining qalin tashqi lipopolisaxarid membranasini tufayli musbat zaryadli molekulalar va ROS turlarining hujayra ichiga diffuziyalanishiga kuchliroq to'sqinlik qiladi, Gram-musbat *S. aureus* esa faqat g'ovakli peptidoglikan qatlamiga ega bo'lganligi sababli materialning destruktiv ta'siriga tezroq va osonroq uchraydi. Shunday qilib, gibrid materialdagi vodorod bog'larining zichligi va elektron tuzilishi ham lyuminescent ko'rsatkichlarni, ham mikrobiologik himoya funksiyasini sinergik tarzda yuqori darajaga ko'taradi.

Xulosa va takliflar

Ushbu ilmiy tadqiqot ishi doirasida materialshunoslik, yashil kimyo va tibbiy mikrobiologiya fanlarining zamonaviy talablariga to'liq javob bera oladigan, xona haroratida anomal uzoq muddatli fosforlanish (RTP) va yuqori samarali antibakterial faollikka ega bo'lgan yangi, ko'p funksiyali organik asosli gibrid kompozit materiallar muvaffaqiyatli sintez qilindi va ularning funksional xossalari tizimli ravishda tadqiq etildi. Yashil kimyo prinsiplari asosida, atrof-muhit uchun mutlaq zararsiz gidrotermal usulda amalga oshirilgan sintez jarayoni polimer va noorganik matritsalar ichida faol organik lyuminofor molekulalarini molekulyar darajada bir jinsli dispersiyalash imkonini berdi. Fizik-kimyoviy tahlillar, xususan FTIR va XRD metodlari, matritsa zanjirlari va mehmon molekulalari o'rtasida kuchli va zich molekulalararo vodorod bog'lanishlari tarmog'i hosil bo'lganligini va bu tizim mehmon molekulalarning harakat erkinligini cheklovchi rigid "molekulyar qafas" vazifasini mukammal bajarganligini tasdiqladi. Optik va fotofizik o'lchovlar natijasida materialning xona haroratida, atmosfera havo muhitida ham kislorod va issiqlik quenching effektlaridan to'liq himoyalangan holda, rekord darajadagi [2.48 sekund] davom etuvchi yorqin fosforlanish (RTP) xususiyatiga ega ekanligi aniqlandi. Shu bilan birga, mikrobiologik tadqiqotlar sintez qilingan material sirt zaryadlarining elektrostatik ta'siri hamda yorug'lik ta'sirida hosil bo'luvchi faol kislorod shakllari (ROS) hisobiga inson salomatligi uchun o'ta xavfli bo'lgan Gram-musbat *Staphylococcus aureus* va Gram-manfiy *Escherichia coli* patogen bakteriyalarining o'sishi va ko'payishini 24 soat ichida mos ravishda 94.6% va 88.2% gacha butunlay ingibirlash imkoniyatiga ega bo'lgan kuchli keng spektrli bakteritsid samaradorligini namoyon etdi. Olingan fundamental va empirik natijalar ushbu ekologik xavfsiz, arzon tannarxli va ko'p funksiyali gibrid materiallardan kelajakda zamonaviy tibbiyot muassasalarida doimiy vizual va biologik nazoratni ta'minlovchi o'z-o'zini sterillovchi "aqli" qoplamalar ishlab chiqishda, oziq-ovqat xavfsizligida mahsulotlarning sifat buzilishini ko'rsatuvchi vizual intellektual indikatorli qadoqlash materiallari sifatida, shuningdek, yuqori texnologiyali maxfiy hujjatlar va mahsulotlarni kontrafaktga qarshi ko'p bosqichli himoya qilish tizimlarida keng ko'lamda qo'llashning keng amaliy imkoniyatlar ochib beradi. Tadqiqot kelajakda ushbu materiallarning biologik moslashuvchanligini (biocompatibility) tirik hujayra liniyalarida (in vitro va in vivo) sinovdan o'tkazish va ularning tijoratlashtirish imkoniyatlarini yanada kengaytirish uchun zamin yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Zhao W., He Z., Tang B. Z. Room-temperature phosphorescence from organic aggregates // *Nature Reviews Materials*. – 2020. – Vol. 5. – P. 869–885.
2. Zhang X., Zhang Y., Liu X. Multifunctional organic phosphorescent materials with antibacterial properties // *Chemical Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 430. – Article 132714. DOI: 10.1016/j.cej.2021.132714.
3. An Z., Zheng C., Tao Y., Chen R., Shi H., Chen T., Wang Z., Li H., Deng R., Liu X., Huang W. Stabilizing triplet excited states for ultralong organic phosphorescence // *Nature Materials*. – 2015. – Vol. 14. – P. 685–690.
4. Su Y., Phua S. Z. F., Li Y., Zhou X., Jana D., Liu G., Lim W. Q., Ong W. K., Yang C., Zhao Y. Ultralong room temperature phosphorescence from amorphous organic materials toward confidential information encryption and decryption // *Science Advances*. – 2018. – Vol. 4. – No. 5. – Article eaas9732.
5. Gu L., Shi H., Gu M., Ling K., Ma H., Cai S., Song L., Ma C., Li H., Xing G., Hang X., Li J., Gao Y., Yao W., Shuai Z., An Z., Liu X., Huang W. Dynamic ultralong organic phosphorescence by photoactivation // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2018. – Vol. 57. – No. 28. – P. 8425–8431.
6. Wang J., Gu X., Tang B. Z. Oxygen-insensitive organic room-temperature phosphorescence: mechanism and applications // *Materials Chemistry Frontiers*. – 2021. – Vol. 5. – No. 8. – P. 3291–3305.
7. El-Sayed M. A. Spin-orbit coupling and the radiationless processes in nitrogen heterocyclics // *The Journal of Chemical Physics*. – 1963. – Vol. 38. – No. 12. – P. 2834–2838.
8. Li D., Lu F., Polyakov A. Y. Green synthesis of carbon-based dots with aggregate-induced emission and long-lived phosphorescence for antimicrobial coatings // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2023. – Vol. 15. – No. 4. – P. 5120–5132.
9. Memetov R., Asrorov A. Gibrid polimer kompozit materiallarning optik va mikrobiologik xususiyatlarini tadqiq etish // *O'zbekiston Kimyo Jurnali*. – 2024. – № 2. – B. 45–52.
10. Tursunov M. S., Xoliqov I. Gidrotermal sintez usulida olingan lyuminoforlarning bakteritsid faolligi mexanizmlari //



- O'zbekiston Milliy universiteti xabarlari. – 2025. – № 3(1). – B. 112–119.
11. Karimov S. B. va boshq. Yashil kimyo prinsiplari asosida ekologik xavfsiz lyuminessent plyonkalar olish // Kompozitsion materiallar jurnali. – 2024. – № 4. – B. 88–94.
 12. Mitchell M., Harrison R. G. Antibacterial mechanisms of reactive oxygen species (ROS) induced by photodynamic materials // *Biomaterials*. – 2021. – Vol. 275. – Article 120910.
 13. Kenawy E. R., Worley S. D., Broughton R. The chemistry and applications of antimicrobial polymers: a state-of-the-art review // *Biomacromolecules*. – 2007. – Vol. 8. – No. 5. – P. 1359–1384.
 14. Zhou Q., Shi W. Hydrogen-bonded organic frameworks for long-lived room-temperature phosphorescence and photodynamic therapy // *Coordination Chemistry Reviews*. – 2022. – Vol. 452. – Article 214302.
 15. Yusupov A. X. Xona haroratida fosforlanuvchi organik tizimlar sintezi va fizik-kimyoviy tahlili: doktorlik dissertatsiyasi avtoreferati. – Toshkent: O'ZR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti, 2023.

muhandislik

& iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 6

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100