

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ
ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі
институты
«Химия және биохимиялық инженерия» кафедрасы

ЖАКЕНАЕВА ДАНИЯ АСКАРОВНА

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

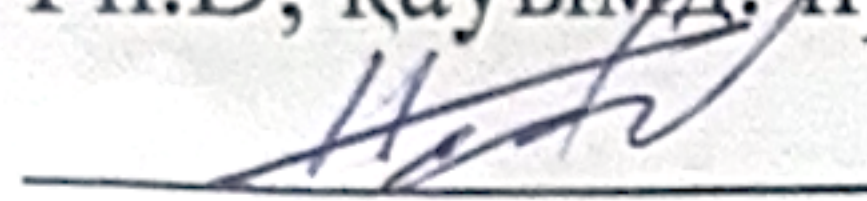
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің синтезі, сипаттамасы және
қолданылуы

7M07142- Органикалық заттардың химиялық технологиясы

Ғылыми жетекші:

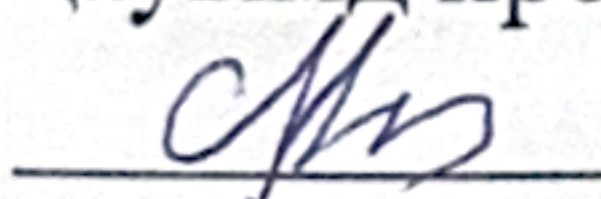
Ph.D, қауымд. профессор

 Нақан Ұ

« » 2025 ж.

Рецензент:

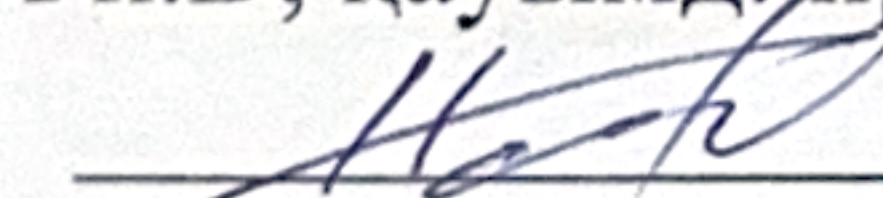
әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің
химия және химиялық технология
факультеті, органикалық заттар,
табиғи қосылыстар мен
полимерлер химиясы және
технологиясы кафедрасының
қауымд профессоры, х.ғ.к.

 Рахметуллаева Р.Қ.

« 17 » маусым 2025 ж.

Норма бақылаушы:

Ph.D, қауымд. профессор

 Нақан Ұ.

« » 2025 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

хим. ғыл. канд. қауымд.

профессор

 Р.А. Мангазбаева

« 17 » маусым 2025 ж.

Алматы 2025 ж.

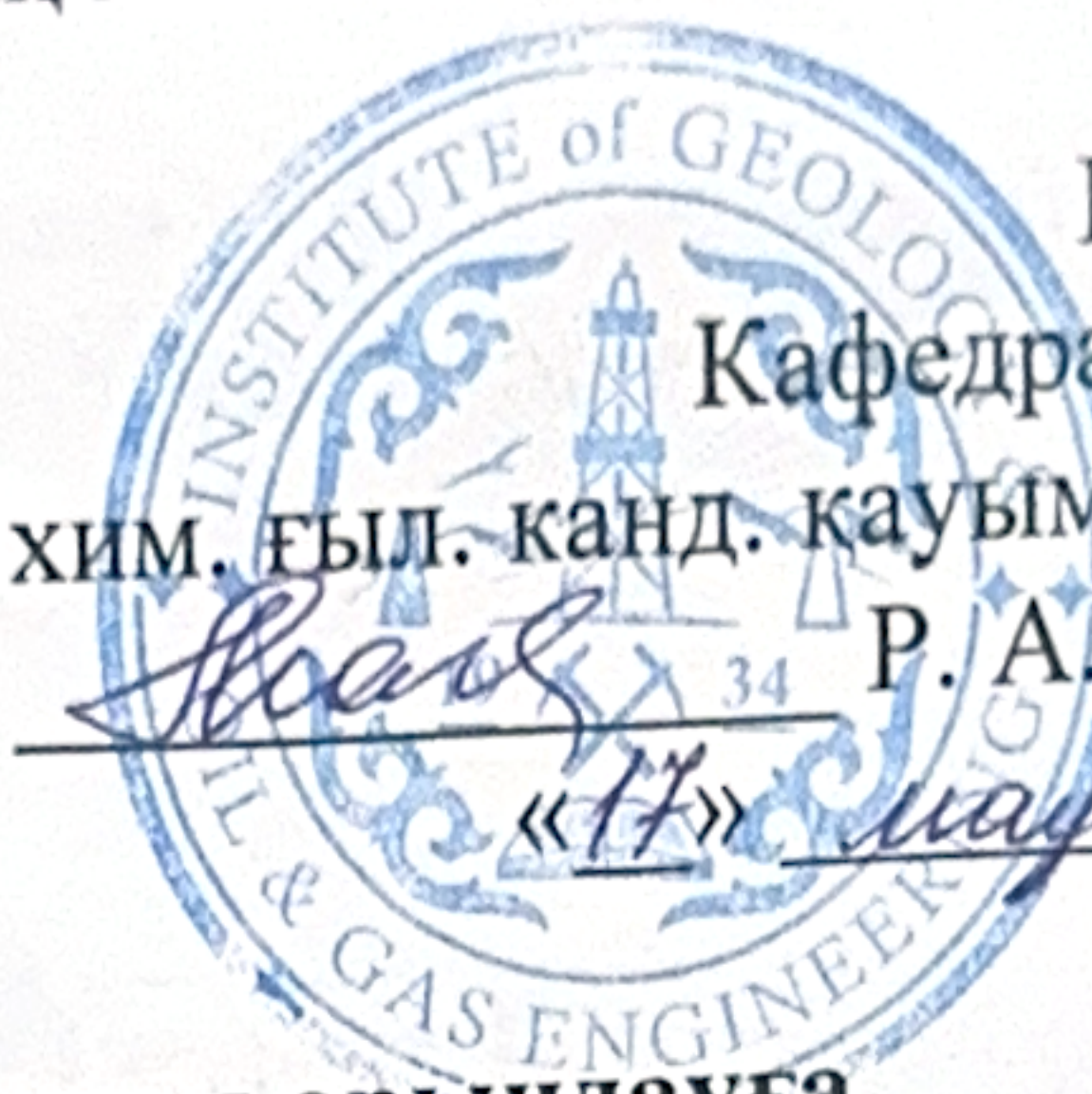
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты

Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы

7M07142 – Органикалық заттардың химиялық технологиясы

 **БЕКІТЕМІН**
Кафедра меңгерушісі
хим. ғыл. канд. қауымд. профессор
Р. А. Мангазбаева
«17» маусым 2025 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант: Жакенаева Дания Аскарровна

Тақырыбы: Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің синтезі, сипаттамасы
және қолданылуы

Университет ректорының 2023 жылғы 4 желтоқсандағы № 548-П/Ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі: 16.06.2025 ж.

Магистрлік диссертацияны орындау үшін бастапқы деректер ретінде: ДМА
мен ГЭА негізіндегі гидрогелдер синтезделді. Гидрогельдерге күміс
нанобөлшектері енгізілді. Құрамында нанобөлшегі бар және нанобөлшексіз
гидрогелдің физика-химиялық, антибактериялық қасиеттері зерттелді.

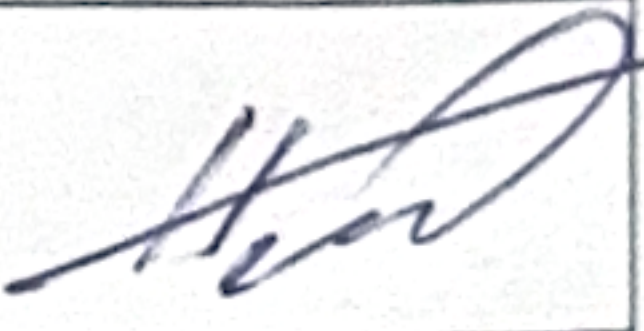
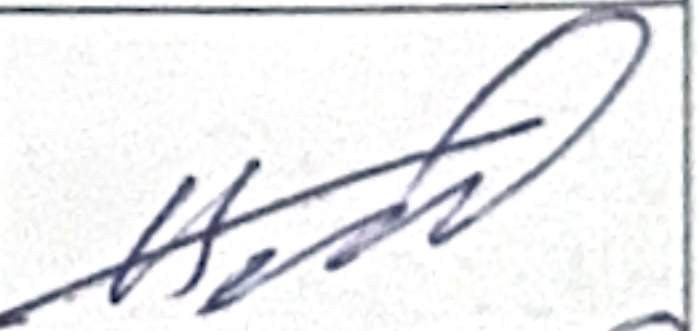
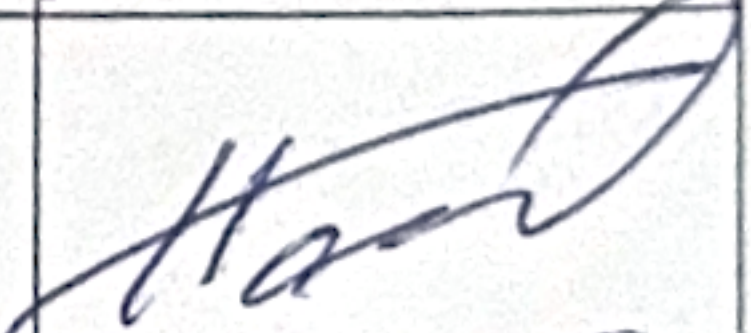
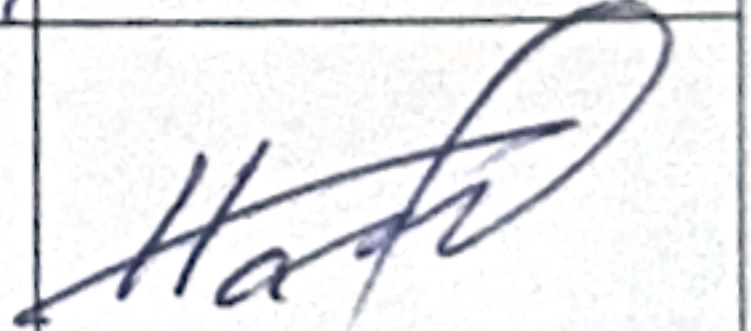
Магистрлік диссертацияда әзірленуге жататын міндеттер:

- а) Диметилакриламид және 2-гидроксиэтилакрилат негізіндегі гидрогелдерді
синтездеудің оңтайлы жағдайларын әзірлеу;
- ә) N,N-диметилакриламид негізіндегі гидрогел матрицасына күміс
нанобөлшектерін әртүрлі әдістермен енгізу;
- б) Құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз гидрогельдерге
физика-химиялық әдістер арқылы сипаттама беру.
- в) Құрамында күміс нанобөлшектері бар және нанобөлшексіз гидрогельдердің
антибактериялық қасиеттерін зерттеу.
- г) Құрамында күміс нанобөлшектері бар және нанобөлшексіз гидрогельдердің
иммобилизациялық қасиеттерін зерттеу.

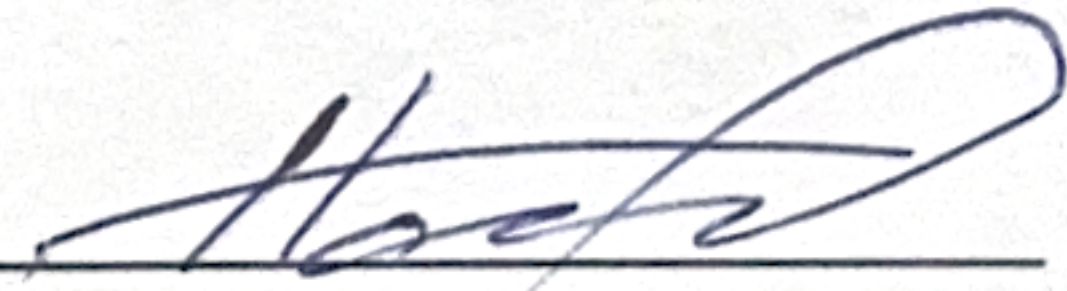
Магистрлік диссертацияны даяулау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Теориялық бөлім	22.12.2023ж	орындалды
Эксперименттік бөлім	02.10.2024 - 30.04.2025 ж	орындалды
Нәтижелер және талқылау	01.05.2025 - 20.05.2025 ж	орындалды

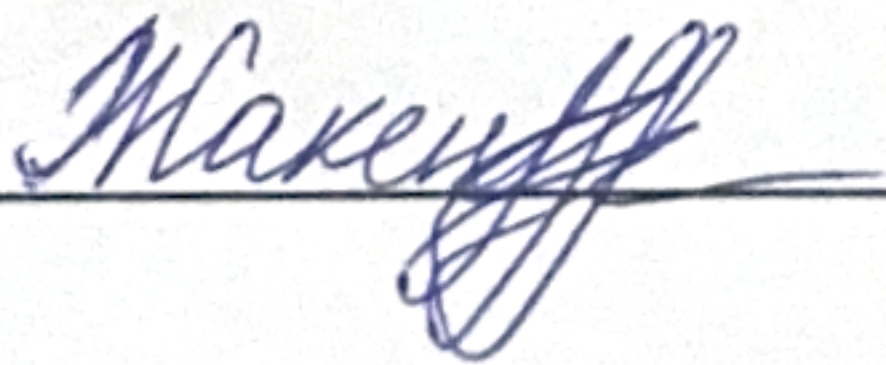
Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты
бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының
қолдары

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші (аты- жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған мерзім	Қолы
Теориялық бөлім	Нақан Ұ. Ph.D., ассоц. профессор	22.12.2023	
Эксперименттік бөлім	Нақан Ұ. Ph.D., ассоц. профессор	01.05.2025	
Нәтижелер және оны талқылау	Нақан Ұ. Ph.D., ассоц. профессор	21.05.2025	
Нормалық бақылау	Нақан Ұ. Ph.D., ассоц. профессор	16.06.2025	

Ғылыми жетекші
Ph.D, ассоц. профессор
Білім алушы тапсырманы
орындауға алды



Нақан Ұ.



Жакенаева Д.А.

«16» маусым 2025 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

Магистрлік диссертация

Жакенаева Дания

7M07142-« Органикалық заттардың химиялық технологиясы»

Тақырыбы: «Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің синтезі,
сипаттамасы және қолданылуы»

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Акрил мономерлер негізінде алынған полимерлер ерекше физика-химиялық қасиеттеріне байланысты түрлі салаларда кеңінен қолданылуда. Бүгінгі таңда көптеген зерттеушілер бұл материалдардың қасиеттерін жетілдіруге және жаңа қолдану мүмкіндіктерін ашуға бағытталған зерттеулер жүргізуде. Аталмыш полимерлердің матрицасына нанобөлшектерді енгізу олардың функционалдық қасиеттерін арттырып, қолданылу аясын одан әрі кеңейтеді.

Жакенаева Дания өзінің ғылыми зерттеу жұмысында N,N-диметилакриламид негізіндегі мономерлерді қолдана отырып сополимерлерді синтездеуді, олардың матрицасына күміс нанобөлшектерін әртүрлі әдістермен енгізуді және алынған сополимерлердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеуді мақсат етті. Сондықтан, жас зерттеушінің ғылыми зерттеу жұмысы өте өзекті, маңызды мәселелерді шешуге бағытталған ғылыми жұмыстардың бірі болып есептеледі.

Зерттеу жұмысында қойылған міндеттерді орындау барысында синтезделген полимерлерге заманауи зерттеу әдістері — ИҚ-спектроскопия (FTIR), сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM), термиялық талдау (TGA, DTG) және басқа да әдістер қолданылды. Алынған гидрогельдердің суды көп мөлшерде сіңіріп, қайта шығара алу қабілеті мен олардың құрамындағы нанобөлшектердің антибактериялық қасиеттері бұл материалдарды дәрілік заттарды жеткізуші жүйе ретінде қолдануға мүмкіндік береді деген ұсыныс жасалып, бұл тұжырым тәжірибелік нәтижелермен дәлелденіп, жан-жақты сипатталды.

Гидрогельдердің Gram-positive және Gram-negative бактерияларға қарсы тиімділігі нақты тәжірибелік нәтижелер арқылы дәлелденді. Бұл зерттеу жұмысының жоғары ғылыми деңгейде орындалғанын көрсетеді.

Бұл зерттеу жұмысында магистрант өзіне меңгерген теориялық білімін іс жүзінде қолдана отырып, тәжірибелік дағдыларын жетілдіруге ұмтылған. Жұмыста болмашы кемшіліктер орын алуы мүмкін, алайда бұл жайт зерттеу жұмысының ғылыми құндылығын төмендетпейді.

Жакенаева Дания ғылыми зерттеу жұмысы барлық зерттеу жұмыстарына қойылған барлық талаптарға сай, алға қойылған мақсаты толық орындалған «өте жақсы» деген бағаға лайық зерттеу жұмысы және осы жұмысты орындаушы магистр дәрежесін алуға толық лайықты деп есептеймін.

РЕЦЕНЗЕНТ

әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің химия және
химиялық технология факультеті,
органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен
полимерлер химиясы және технологиясы
кафедрасының қауымд профессоры, Х.Р.К.

«17» маусым 2025 ж.



Рахметуллаева Р.Қ.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Ғылыми жетекшінің пікірі

Магистрлік зерттеу жұмысы

(жұмыс түрінің атауы)

Жакенаева Дания

(білім алушының Т.А.Ә.)

7M07142-« Органикалық заттардың химиялық технологиясы»

(мамандық атауы мен шифрі)

Тақырыбы: «Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің синтезі,
сипаттамасы және қолданылуы»

Күміс нанобөлшектерімен байытылған гидрогельдер қазіргі таңда биомедициналық қолдану саласында ерекше қызығушылық тудыруда. Бұл гидрогельдер жоғары бактерияға қарсы белсенділікке ие болғандықтан, инфекция қаупін азайту үшін жарақаттар мен күйіктерді емдеуде тиімді құрал ретінде қолданылады. Олардың құрамындағы күміс нанобөлшектері микроб жасушаларының өсуін тежейді, ал гидрогельдің ылғал ұстау қабілеті жаранын тез жазылуына қолайлы жағдай жасайды.

Сонымен қатар, бұл материалдар дәрілік заттарды жеткізу жүйесінде перспективалы болып табылады. Гидрогельдің құрылымы дәрілік молекулаларды біртіндеп және жоспарлы түрде босатуға мүмкіндік береді, бұл емдік әсердің ұзақтығын арттырады және қажетсіз жанама әсерлерді төмендетеді. Осы гидрогельдер заманауи медицина мен фармацевтикада жоғары бағаланып, кеңінен зерттелуде.

Жакенаева Данияның N,N-диметилакриламид негізіндегі құрамында күміс нанобөлшегі бар сополимерлік гидрогелдерді синтездеу, олардың физика-химиялық қасиетін зерттеуді мақсат етіп орындаған магистрлік зерттеу жұмысы өте өзекті, маңызды мәселелерді шешуге бағытталған ғылыми жұмыстардың бірі болып есептеледі.

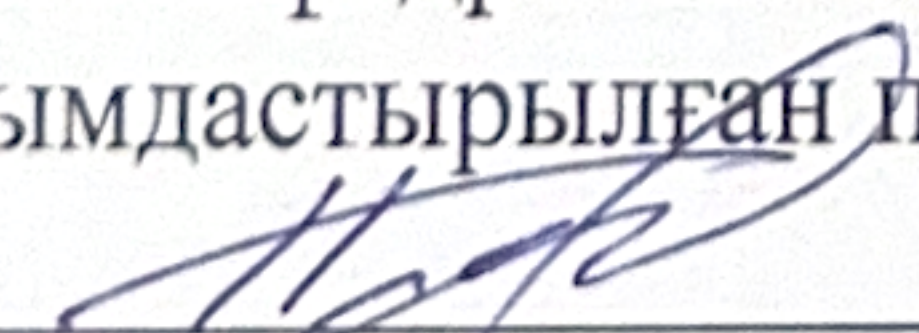
Зерттеу жұмысында алға қойған міндетін орындау барысында синтездеп алған полимерлеріне ИҚ- спектроскопия анализі, сканерлеуші электронды микроскоптік талдау, термогравиметриялық талдау, гравиметриялық зерттеу әдістері қолданылды. Сонымен бірге, аталған гидрогелдердің антибактериялық және дәрілік заттарды тасымалдау қасиеттері грамоң (GP) және грам терс (GN) бактериялар арқылы нақты биологиялық сынақтар арқылы толық дәлелденген.

Жакенаева Данияның ғылыми зерттеу жұмысы барлық зерттеу жұмыстарына қойылған барлық талаптарға сай, алға қойылған мақсаты толық орындалған «өте жақсы» деген бағаға лайық зерттеу жұмысы және осы жұмысты орындаушы магистр дәрежесін алуға толық лайықты деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

ХиБИ кафедрасының

қауымдастырылған профессоры, Ph.D

 Нақан Ұлантай

«18»_06_2025ж.

АНДАТПА

Магистрлік жұмыс 49 беттен, 18 суреттен, 7 кестеден және 35 қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады

Түйінді сөздер: N,N- диметилакриламид, 2-гидроксиэтилакрилат, цетилпиридин бромиді, күміс нитраты, нанобөлшектер, антибактериялық қасиеті.

Зерттеу нысандары: N,N- диметилакриламид (ДМА) пен 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізіндегі құрамында күміс нанобөлшегі бар және күміссіз торлы құрылымды гидрогелдер.

Жұмыстың мақсаты N,N-диметилакриламид (ДМА) пен 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізінде құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз торлы құрылымды сополимерлерді синтездеп, олардың физика-химиялық және антибактериялық қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу әдістері: Инфрақызыл (ИК) спектроскопия «ALPHA II» FT-IR спектрометрі (Bruker, Германия). Сканерлеуші электронды микроскопия («JSM-6610», JEOL, Жапония). Термогравиметриялық талдау «Analyzer 6000-STA», радикальды сополимерлену, гравиметрия («ISO 9001 аналитикалық таразы» Sartorius, Германия), антибактериялық зерттеулерге арналған әдістер.

Алынған нәтижелер мен олардың практикалық маңыздылығы. Зерттеу жұмысы барысында N,N-диметилакриламид (ДМА) және 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) мономерлері негізінде полимерлі гидрогелдер синтезделіп алынды. Гидрогелдердің матрицасына күміс нанобөлшектері екі түрлі әдіс арқылы енгізілді: синтезге дейін және синтезден кейін. Бұл екі тәсілдің де тиімділігі түрлі зерттеу әдістермен дәлелденіп, нанобөлшектердің гель құрылымында орналасуы зерттелді.

Күміс нанобөлшектері бар және нанобөлшектерсіз гидрогелдердің морфологиялық құрылымы, термиялық тұрақтылығы, сондай-ақ ісіну-жиырылу кинетикасы жан-жақты талданды. Зерттеу нәтижелері гидрогелдердің физика-химиялық қасиеттеріне нанобөлшектердің әсері бар екенін көрсетті. Сонымен қатар, алынған гидрогелдердің антибактериялық белсенділігі мен дәрілік заттарды иммобилизациялап қажетті орынға тасымалдау қабілетінің бар екендігі биологиялық зерттеулер арқылы анықталды. Жұмыста ДМА-ГЭА негізіндегі гидрогелдерді гидрогелді дәрілік заттардың тасымалдаушы материалдар қолдану ұсынылған.

АННОТАЦИЯ

Магистерская работа состоит из 49 страницы, 18 рисунков, 7 таблиц и списка из 35 использованных литературных источников.

Ключевые слова: N,N-диметилакриламид, 2-гидроксиэтилакрилат, бромид цетилпиридина, нитрат серебра, наночастицы, антибактериальные свойства.

Объекты исследования: гидрогели на основе N,N-диметилакриламида (ДМА) и 2-гидроксиэтилакрилата (ГЭА), содержащие наночастицы серебра и без них, с трехмерной сетчатой структурой.

Цель работы синтезировать сополимеры на основе N,N-диметилакриламида (ДМА) и 2-гидроксиэтилакрилата (ГЭА), содержащие наночастицы серебра и без них, с сетчатой структурой, а также исследовать их физико-химические и антибактериальные свойства.

Методы исследования: инфракрасная (ИК) спектроскопия на спектрометре «ALPHA II» FT-IR (Bruker, Германия); сканирующая электронная микроскопия (JSM-6610, JEOL, Япония); термогравиметрический анализ (Analyzer 6000-STA); радикальная сополимеризация; гравиметрия (аналитические весы Sartorius, Германия, ISO 9001); методы антибактериальных исследований.

Полученные результаты и их практическая значимость: в ходе исследования были синтезированы полимерные гидрогели на основе мономеров N,N-диметилакриламида (ДМА) и 2-гидроксиэтилакрилата (ГЭА). Наночастицы серебра вводились в матрицу гидрогелей двумя способами: до синтеза и после него. Эффективность обоих методов подтверждена различными методами анализа, также изучено расположение наночастиц в структуре геля.

Были всесторонне проанализированы морфологическая структура, термическая стабильность, а также кинетика набухания и сжатия гидрогелей с серебром и без него. Результаты показали, что наночастицы влияют на физико-химические свойства гидрогелей. Также в результате биологических исследований установлено, что полученные гидрогели обладают антибактериальной активностью и способностью к иммобилизации лекарственных веществ с последующей доставкой в нужное место. В работе предлагается использовать гидрогели на основе ДМА-ГЭА в качестве носителей для доставки лекарственных препаратов.

ANNOTATION

The master's thesis consists of 49 pages, 18 figures, 7 tables, and a list of 35 references.

Keywords: N,N-dimethylacrylamide, 2-hydroxyethyl acrylate, cetylpyridinium bromide, silver nitrate, nanoparticles, antibacterial properties.

Objects of the study: hydrogel networks based on N,N-dimethylacrylamide (DMA) and 2-hydroxyethyl acrylate (HEA), with and without silver nanoparticles.

The aim of the study is to synthesize crosslinked copolymers based on N,N-dimethylacrylamide (DMA) and 2-hydroxyethyl acrylate (HEA), with and without silver nanoparticles, and to investigate their physicochemical and antibacterial properties.

Research methods: Infrared (IR) spectroscopy using the "ALPHA II" FT-IR spectrometer (Bruker, Germany); scanning electron microscopy (JSM-6610, JEOL, Japan); thermogravimetric analysis (Analyzer 6000-STA); radical copolymerization; gravimetry (analytical balance "Sartorius", Germany, ISO 9001); antibacterial testing methods.

Findings and practical significance: During the research, polymer hydrogels were synthesized based on the monomers N,N-dimethylacrylamide (DMA) and 2-hydroxyethyl acrylate (HEA). Silver nanoparticles were introduced into the hydrogel matrix using two approaches: before and after polymerization. The efficiency of both methods was confirmed using various analytical techniques, and the distribution of nanoparticles within the gel structure was studied.

The morphological structure, thermal stability, and swelling-shrinking kinetics of the hydrogels with and without silver nanoparticles were thoroughly analyzed. The results demonstrated that nanoparticles influence the physicochemical properties of the hydrogels. Furthermore, biological studies confirmed the antibacterial activity of the obtained hydrogels and their ability to immobilize and deliver pharmaceutical agents to targeted areas. The work proposes the application of DMA–HEA-based hydrogels as carrier materials for drug delivery systems.

МАЗМҰНЫ

	БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	
	КІРІСПЕ	
	Әдеби шолу	
	Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің және сополимерлерді синтездеудің жалпы сипаттамасы	
	Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің сипаттамасы	
	Радикалдық полимерлеу әдістері мен сипаттамасы	
	Сополимерлеуде қолданылатын акрилатты мономерлердің салыстырмасы	
	Сополимерлік жүйелердің физико-химиялық сипаттамасын анықтайтын заманауи әдістер	
	Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің қолданылуы	
	Тәжірибелік бөлім	
	Бастапқы заттар мен еріткіштердің сипаттамасы	
	ДМА және ГЭА негізіндегі сополимерлердің синтезі	
	Физика- химиялық зерттеулер әдістері	
	Алынған нәтижелер және оларды талқылау	
	N	
	N	
	Гидрогелдердің антибактериялды және имобилизациялық қасиеттерін зерттеу	
	ҚОРЫТЫНДЫ	
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР	
	ҚОСЫМШАЛАР	

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

AgNPs	Күміс нанобөлшектері
APS	Аммоний персульфаты
2ГЭА	2-гидроксиэтилакрилат
ДМА	Диметилакриламид
SA	N,N-метилен-бис-акриламид
SEM	Сканерлік электронды микроскоп
TGA	Термогравиметриялық талдау

КІРІСПЕ

Зерттеудің өзектілігі: Күміс нанобөлшектері бар гидрогелдерді қолдану олардың жоғары антибактериялық белсенділігіне байланысты ерекше маңызға ие. Күміс иондары микроб жасушаларының қабырғасын зақымдап, олардың метаболизмін тежейді, бұл оларды жарақаттарды емдеуде, таңғыш материалдар мен катетерлерді микробтан қорғауда тиімді етеді. Гидрогелдік матрица күміс нанобөлшектерін біркелкі таратып, оларды біртіндеп босата алады, нәтижесінде ұзақ мерзімді және тұрақты микробқа қарсы әсер байқалады. Сонымен қатар, күміс нанобөлшектері гидрогелдердің құрылымдық және функционалдық қасиеттерін жақсартады. Олар полимер торының термиялық тұрақтылығын арттырып, материалдың беріктігін күшейтеді және кейбір жағдайларда ісіну қасиетіне әсер етеді. Мұндай материалдар тек медицинада ғана емес, сонымен қатар биотехнологияда – ферменттер мен жасушаларды иммобилизациялау, дәрілік заттарды тасымалдау, сондай-ақ қоршаған ортаны қорғауда (су тазарту, антимикробтық жабындар) қолдануға қолайлы. Осылайша, күміс нанобөлшектері бар гидрогелдер – көпсалалы қолдануға ие перспективалы биоматериалдар болып табылады.

Жұмыстың мақсаты N,N-диметилакриламид (ДМА) пен 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізінде құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз торлы құрылымды сополимерлерді синтездеп, олардың физика-химиялық және антибактериялық қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу әдістері: Инфрақызыл (ИК) спектроскопия «ALPHA II» FT-IR спектрометрі (Bruker, Германия). Сканерлеуші электронды микроскопия («JSM-6610», JEOL, Жапония). Термогравиметриялық талдау «Analyzer 6000-STA», радикальды сополимерлену, гравиметрия («ISO 9001 аналитикалық таразы» Sartorius, Германия), антибактериялық зерттеулерге арналған әдістер.

Алынған нәтижелер мен олардың практикалық маңыздылығы. Зерттеу жұмысы барысында N,N-диметилакриламид (ДМА) және 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) мономерлері негізінде полимерлі гидрогелдер синтезделіп алынды. Гидрогелдердің матрицасына күміс нанобөлшектері екі түрлі әдіс арқылы енгізілді: синтезге дейін және синтезден кейін. Бұл екі тәсілдің де тиімділігі түрлі зерттеу әдістермен дәлелденіп, нанобөлшектердің гель құрылымында орналасуы зерттелді.

Күміс нанобөлшектері бар және нанобөлшектерсіз гидрогелдердің морфологиялық құрылымы, термиялық тұрақтылығы, сондай-ақ ісіну-жиырылу кинетикасы жан-жақты талданды. Зерттеу нәтижелері гидрогелдердің физика-химиялық қасиеттеріне нанобөлшектердің әсері бар екенін көрсетті. Сонымен қатар, алынған гидрогелдердің антибактериялық белсенділігі мен дәрілік заттарды иммобилизациялап қажетті орынға тасымалдау қабілетінің бар екендігі биологиялық зерттеулер арқылы анықталды. Жұмыста ДМА-ГЭА негізіндегі гидрогелдерді гидрогелді дәрілік заттардың тасымалдаушы материалдар қолдану ұсынылған.

1 Әдеби шолу

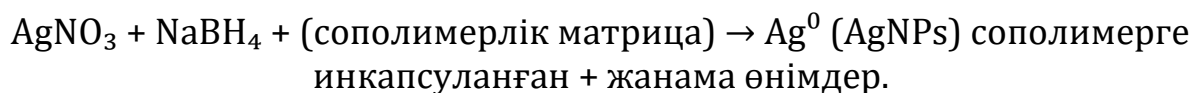
1.1 Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің және сополимерлерді синтездеудің жалпы сипаттамасы

1.1.1 Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің сипаттамасы

Күміс нанобөлшектері бар сополимерлер – бұл полимерлер тұрақтандырғыш қызметін атқаратын, нанобөлшектердің бетінде қорғаныс қабықшасын құрайтын полимерлі композиттер. Күмістің нанобөлшектері бар сополимерлердің бір ерекшелігі – жоғары деңгейдегі антибактериалдық белсенділік. Наноблоктардың микроорганизмдердің жасушалық қабырғаларын бұзатын қасиеті материалдардың бактериялардың өсуін тиімді тежейтіндігін дәлелдейді. Әрекет механизмі жасуша мембранасының құрылымын бұзу арқылы, сондай-ақ Ag^{+} иондарының босатылуы нәтижесінде патогендердің өмір сүруін тежейді. Эксперименталды зерттеулер бұл материалдардың аз концентрациядағы актив компонентпен жоғары антибактериалдық индекске ие екенін растайды.

Беткі плазмонды резонанс (SPR) әсері күмістің нанобөлшектері бар нанокомпозиттердің негізгі оптикалық қасиеті болып табылады. SPR пиктерінің қарқындылығы мен орнын бақылау материалдарды оптикалық сүзгілер, сенсорлар және фотоникалық құрылғылар жасау үшін қолдануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, нанокомпозиттердің металл наноблоктарының болуынан туындаған жоғарыланған өткізгіштігі, оларды икемді электроника схемаларының және микроэлектроника құрылғыларының компоненттері ретінде пайдалануға жағдай жасайды [3].

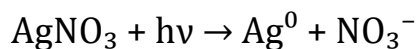
Заманауи нанохимиядағы негізгі бағыттардың бірі – сополимерлік матрица қатысуында күміс нанобөлшектерін тиімді синтездеу әдістерін әзірлеу болып табылады. Негізгі әдіс – серебрә иондарының (Ag^{+}) нөлдік күйге (Ag^0) қалпына келуі реакциясын мономерлердің полимеризациясы барысында жүзеге асыру, нәтижесінде нанобөлшектер полимер желісінде біркелкі таралған композит қалыптастырылады. Типтік реакция келесі түрде өрнектеледі:



Бұл реакцияда натрий боргидрид (NaBH_4) тотықсыздандырғыш ретінде әрекет етеді, ал функционалдық топтары бар сополимер (мысалы, $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$) нанобөлшектердің тұрақтануын қамтамасыз етеді. Бұл координациялық байланыстар мен электростатикалық өзара әрекеттесу нәтижесінде жүзеге асады. Реакция параметрлерін – реагенттердің концентрациясын, реакция уақытын, температураны және рН ортасын оңтайландыру өте маңызды, себебі бұл нанобөлшектердің өлшеміне (әдетте

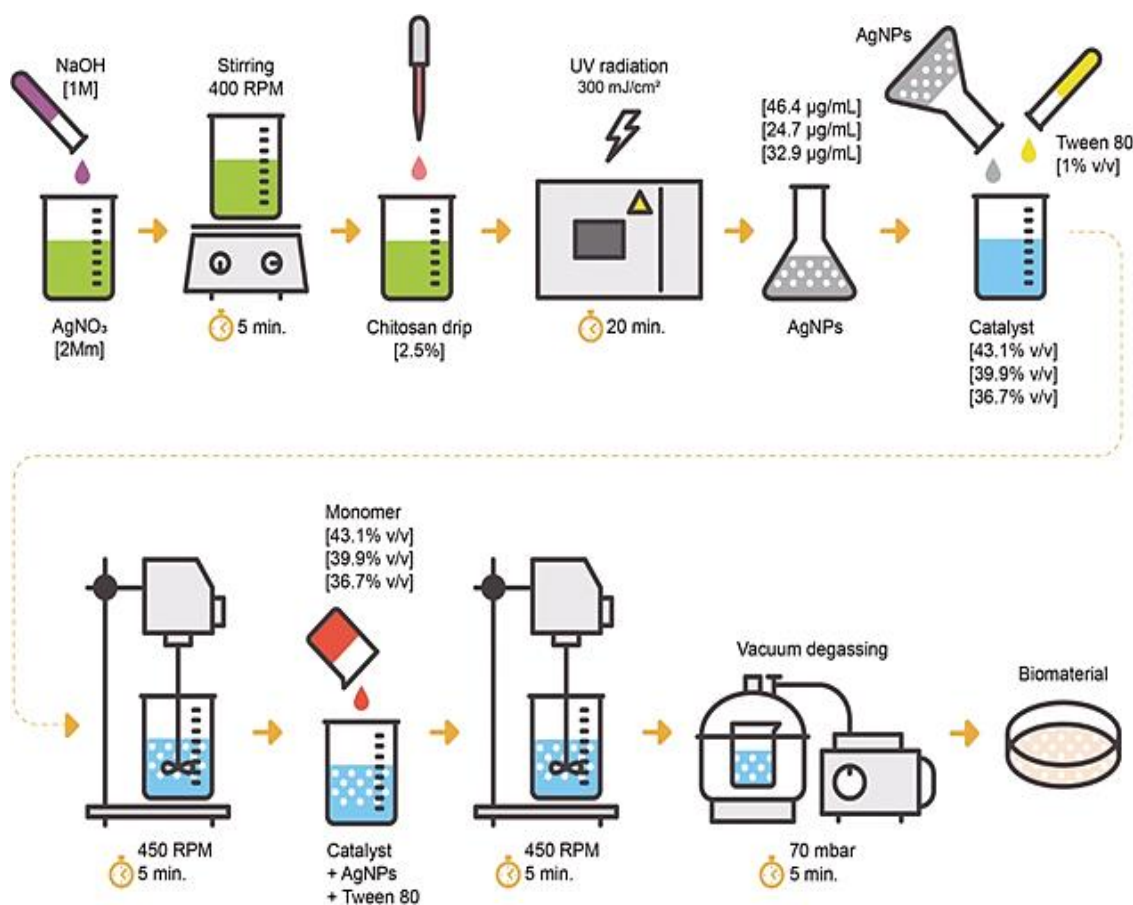
10–100 нм аралығында), морфологиясына және олардың полимерлік матрицадағы таралуына әсер етеді [12,17].

Тағы бір әдіс – фотохимиялық тәсіл, мұнда ультракүлгін сәулелену арқылы электрондардың пайда болуы жүзеге асады, бұл кейбір агенттердің қатысуымен Ag^+ иондарының тотықсыздануына әкеледі:



Бұл жағдайда сополимер тек матрица ретінде ғана емес, сонымен қатар тұрақтандырғыш ретінде қызмет атқарады, ол нанобөлшектердің агрегациясын стериккедергілік қорғау және күміс бетінің функционалдық топтарымен спецификалық өзара әрекеттесуі арқылы болдырмайды.

Күмістің нанобөлшектері бар сополимерлік жүйелер жоғары каталитикалық белсенділік көрсетеді. Нанобөлшектердің жоғары беткі энергиясы химиялық реакцияларды тездетуге ықпал етіп, олар каталитикалық орталық ретінде қызмет атқарады. Осы нанокөмбіттерді қолдану органикалық қосылыстарды синтездеу мен экологиялық таза өндірістік технологияларда оттегілеу және қалпына келтіру реакцияларының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [4].



Сурет 1 – Құрамында күміс нанобөлшектері бар полимерлі көмбіт синтезінің схемасы [12]

Сополимерлердегі күмістің нанобөлшектерін енгізудің негізгі аспектісі – полимер матрицасы мен нанобөлшектер беті арасындағы өзара әрекеттесу. Мономерлердің карбоксиль, гидроксиль және эпоксид топтары күміс иондарымен координациялық және иондық байланыс орнатады. Осы механизм наноблоктардың тұрақтылығын қамтамасыз етіп, олардың агрегациясын болдырмайды. Әдеби деректерде нанобөлшектерді қорғайтын қаптама қалыптастыру процестері егжей-тегжейлі сипатталған, ол сополимерлік жүйеде олардың біркелкі таралуын қамтамасыз етеді. Поливинил спирт сияқты стабилизаторларды қолдану фазалық өзара әрекеттесуді күшейтіп, стабилизатор мен сополимердің функционалдық топтары арасында сутегі байланыстары қалыптастырады. Бұл материалдың термостабильдігі мен механикалық беріктігін арттырып, оптикалық қасиеттерін жақсартады.

Сополимерлерді синтездеу – қазіргі заманғы полимерлік химияның маңызды саласы, ол берілген қолдану қасиеттері бар материалдарды әзірлеуге мүмкіндік береді.

Сополимерлеу екі немесе одан көп мономер қоспасынан жоғары молекулалық өнімдерді алу болып табылады, олар сомономерлер деп аталады, ал өнімнің өзі — сополимер деп аталады. Сополимерлердің макромолекулалары бастапқы реакциялық қоспада болатын барлық мономерлердің жай буындарынан тұрады. Әр сомономер құрамына кіретін сополимерге өзінің қасиеттерін береді, бұл ретте сополимердің қасиеттері жеке гомополимерлер қасиеттерінің жай жиынтығы болып табылмайды. Бұл технология мынадай негізгі міндеттерді іске асырады:

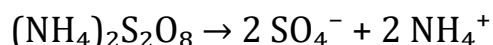
1. Гидрофильді және гидрофобты құрылымдық буындарды бір макромолекулалық тізбекте біріктіру, нәтижесінде сулы ортада ісіну, термочувствительділік және механикалық қаттылық сипатын бейімдеуге мүмкіндік туады.
2. Физика-химиялық көрсеткіштерді (балқу температурасы, шынылану температурасы, коллапс температурасы, ісіну дәрежесі) мономерлердің мольдік қатынасын өзгерту арқылы реттеу.
3. Функционалды топтарды (карбоксильді, гидроксильді, амина-, сульфо-группалар және т.б.) макромолекулаға енгізу арқылы беткі қасиеттерді, биосыйымдылықты немесе нанобөлшектермен әрекеттесу қабілетін жақсарту.

1.1.2 Радикалдық полимерлеу әдістері мен сипаттамасы

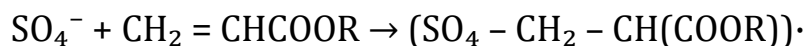
Сополимерлерді алу әдістерінің ішінде ең кең таралғаны – радикалдық сополимеризация, ол еркін радикалдарымен инициалданатын тізбекті процесс болып табылады, мономерлік молекулалардың өсу таптасқан полимерлік тізбекке кезекті қосылуымен сипатталады. Радикалдық сополимеризация үдерісіне инициалдау, тізбек өсуі және тізбектің тоқтауы кезеңдері кіреді. Инициалдау кезеңінде, инициализатордың (мысалы, азобисизобутиронитрил

(АИБН), аммоний персульфаты (APS) әсерінен еркін радикалдар пайда болады. Радикалдар мономерлік молекулаларды шабуылдап, жаңа радикалдық орталықтарды тудырады, олар одан әрі мономерлер қосылуына қабілетті. Тізбек өсуі кезеңі белсенді соңы бар полимерлік тізбекке мономерлердің кезекті қосылуымен, сополимер құрамын және микросызбасын анықтайды. Полимеризация тізбегінің тоқтауы екі өскін радикалдық орталықтың өзара әрекеттесу нәтижесінде белсенділігі жоқ полимерлік молекулалардың пайда болуымен аяқталады.

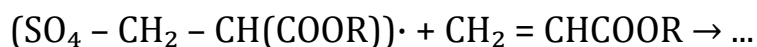
1. Инициирлеу: бос радикалдар түзілуі. Мысалы, аммоний персульфатын $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ термиялық ыдырату кезіндегі реакция:



2. Радикалдардың мономерге шабуылы: SO_4^- радикалы винилді топпен $\text{CH}_2 = \text{CH}-$ әрекеттесіп, жаңа белсенді орталық түзеді. Мысалы, акрилатты $(\text{CH}_2 = \text{CHCOOR})$ полимерлеу кезінде:

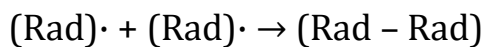


3. Макрорадикалдың өсуі: радикалы тізбекке жаңа мономерлік буындардың бірінен кейін бірін қосылуы:



4. Кросс-байланысу: егер бис-функционалды мономер (мысалы, N,N-метиленбисакриламид) болса, радикал екі винилді топпен де әрекеттесіп, макро-тізбектер арасында көпірше түзеді, соның нәтижесінде үшөлшемді желі пайда болады.

5. Тізбектің үзілуі: екі радикалдың рекомбинациясы не диспропорционіріленуі. Мысалы:



Сополимерлеу кезінде екі не одан да көп винилді мономерлер аралас полимерленеді, осылайша буындар статистикалық, блокты негRAFT-құрылым түзуі мүмкін. Бұл реакциялық жағдайларға және кинетикалық ерекшеліктерге тәуелді.

Кесте 1 – Радикалдық полимерлеу әдістері мен сипаттамасы

Әдіс	Инициатор	Температура, °C	Артықшылығы	Шектеуі
Термиялық (AIBN, BPO)	AIBN, BPO	50–80	Кең таралған, оңай басқарылады	Жоғары температура қажет

1- Кестенің жалғасы

Redox (APS–TEMED, APS–Na ₂ S ₂ O ₅)	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + TEMED	~20–40	Төмен температурада жылдам полимерлеу	pH және концентрация үйлесімі маңызды
Фотополимерлеу (УК)	Irgacure 2959, Darocur және т.б.	Бөлме температурасы	Локалды бақылау, 3D-пішін алуға болады	УК көзі мен фотоинициатор қолданылуы керек
Радиациялық (γ-сәуле)	Co-60 γ-сәулесі	Бөлме және жоғары	Қосымша химиялық реагентсіз	Арнайы қондырғының қымбаттығы

Радикалдық сополимеризация үдерісіне және алынған сополимерлердің қасиеттеріне әсер ететін маңызды факторлар:

- Бастапқы мономер қоспасының құрамы: Реакция ортасындағы мономерлердің қатынасы сополимердің орташа құрамы мен қасиеттеріне тікелей ықпал етеді.
- Инициализатордың табиғаты мен оның концентрациясы: Инициализатордың түрі мен концентрациясы инициалдау жылдамдығын анықтап, алынатын полимердің молекулалық салмағына әсер етеді.
- Реакция температурасы: Температура полимеризацияның барлық элементарлы кезеңдерінің жылдамдығына, сонымен қатар инициализатордың ыдырау тиімділігіне ықпал етеді.
- Ереткіштің табиғаты: Ереткіш мономерлер мен өскін радикалдардың реакция қабілетіне салинаттау әсері арқылы ықпал ете алады.
- Реакция уақыты: Полимеризацияның ұзақтығы мономерлердің толық айналу дәрежесі мен сополимердің алыну табысына әсер етеді.

1.1.3 Сополимерлеуде қолданылатын акрилатты мономерлердің салыстырмасы

Күміс нанобөлшектерін тұрақтандыру қабілетін беретін сополимерлерді синтездеу кезінде беттік AgNP-мен координациялық өзара әрекеттесуге қабілетті функционалдық топтары бар мономерлерді қолдануға ерекше назар аударылады. Мұндай мономерлер қатарына азотты құрамдас бірлігі бар винил қосылыстары, карбоксил, амин немесе басқа да полярлы топтары бар қосылыстар жатады.

Акрилатты сополимерлерге Ag нанобөлшектерін (AgNP) енгізу арқылы антибактериялық және каталитикалық қасиеті бар функционалды материал алуға болады. AgNP енгізу мынадай тәсілдермен іске асады:

1. In situ: мономер қоспасына AgNO_3 қосылып, аскорбин қышқылы арқылы бір мезгілде қалпына келтіріледі.
2. Ex situ: алдын ала синтезделген, тұрақтандырылған Ag коллоидтық ерітіндісі дайын сополимермен араластырылады.

Алғашқы әдіспен нанобөлшектер матрицада біркелкі таралуы ықтимал, бірақ температура мен концентрацияны нақты реттеу керек. Ал екінші әдіспен AgNP өлшемі мен пішінін алдын ала бақылағанмен, сополимерге енгізу сатысында агрегация қаупі жоғары.

Биомедициналық қолдануларда пайдаланылатын сополимерлерді синтездеуде қолданылатын маңызды мономерлер қатарына акрил және метакрил қышқылдарының туындылары, сондай-ақ олардың эфирлері мен амидтері жатады. Әсіресе, N-изопропилакриламид (НИПААм) және гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізіндегі сополимерлер термочувствителді қасиеттері мен гидрогельдердің қалыптасу қабілетін көрсетеді, бұл оларды дәрілік заттарды мақсатты жеткізу жүйелерін жасау үшін перспективалы етеді. Күміс нанобөлшектерін осындай термочувствителді сополимерлік гидрогельдерге енгізу қосымша антимикробтық қасиеттер алуға мүмкіндік береді.

Акрилаттар (және метакрилаттар) кең қолданылады, себебі:

- $\text{CH}_2 = \text{CH}-$ (немесе $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)-$) қос байланыстың реакция қабілеттілігі жоғары,
- Орныбасарлары (метил, этил, гидроксиэтил, т.б.) өзгерту арқылы радикалқабылдағыштық қасиеттерін басқаруға болады,
- Гидрофильді немесе гидрофобты құрылымдарды алу оңай, $\text{R} = \text{CH}_3$, C_2H_5 , $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ және т.б.

Термиялық және redox-бастамалаушы жүйелер:

Термиялық тәсіл: 2, 2' – азобис(изобутиронитрил) (AIBN) не бензоил пероксиді (BPO) 60–80 °C температурада қолданылады, көбіне органикалық еріткіштерде.

Redox (тотықтырғыш-тотықсыздандырғыш) жүйе: $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ немесе APS–TEMED сияқты комбинациялар төмен температурада (~20–40 °C) тез полимерлеуге мүмкіндік береді.

Фотополимерлеу: (мысалы, Irgacure 2959), мұнда УК-сәуле ($\lambda = 250\text{--}400$ нм) қажет.

1.2. Сополимерлік жүйелердің физико-химиялық сипаттамасын анықтайтын заманауи әдістер

Синтезделген сополимерлер мен олардың негізіндегі нанокөмірлердің құрылымы мен қасиеттерін жан-жақты зерттеу үшін заманауи физико-химиялық әдістер кешені қолданылады.

Кесте 2 – Сополимерлік жүйелердің физико-химиялық сипаттамасын анықтайтын заманауи әдістер

Талдау әдісі	Әдіс принципі	Материал туралы алынатын ақпарат
Инфрақызыл (ИК) спектроскопиясы	Молекулалардағы байланыстардың дірілдеріне инфрақызыл сәуле жұтуы арқылы анықталады	Функционалдық топтарды анықтау, молекулалар арасындағы өзара әрекеттесулерді талдау
Ультрафиолеттік (УФ) спектроскопиясы	Электрондық өтулер нәтижесінде ультрафиолет және көрінетін сәуле жұтуды зерттеу	Электрондық қасиеттерді зерттеу, метал нан бөлшектерінің плазмондық резонансы сипаттамасы
Ядролық магниттік резонанс (ЯМР) спектроскопиясы	Магнит өрісіндегі атом ядроларының радиотолқын сәулесін жұтуы арқылы зерттеледі	Полимерлердің атомдық деңгейдегі құрылымын анықтау, құрам, мономерлік бірліктердің реті
Рентгендік дифракция (РД)	Материалдың кристаллдық торына рентген сәулесінің шағылысуын өлшеу арқылы	Кристаллдық құрылымды, фазалық құрамды және кристаллиттер өлшемдерін (нан бөлшектер) анықтау
Өткізгіш электронды микроскопия (ПЭМ)	Жұқа үлгінің электрон пучкі арқылы өткізіліп, өтетін электрондарды тіркеу әдісі	Нан бөлшектердің морфологиясын, өлшемдерін және матрицадегі таралуын тікелей визуалдау
Сканирленген электронды микроскопия (СЭМ)	Фокусланған электрон пучкі арқылы үлгінің бетін сканерлеп, екінші	Материалдардың бет морфологиясын зерттеу

	реттік электрондарды тіркеу арқылы	
--	---------------------------------------	--

2- Кестенің жалғасы

Атомдық сіңіру талдауы	Газ фазасындағы бос атомдардың жарық жұтуы өлшенеді	Элементтік құрамды сандық түрде анықтау
Гель-өту хроматографиясы (ГПХ)	Полимер молекулаларын порлы гель бағанасында өлшемдеріне қарай бөлу	Полимерлердің орташа молекулалық массасын (Mw) және полидисперситетін анықтау
Динамикалық жарық шашырауы (ДСР)	Шашыраған жарықтың уақытына байланысты флуктуацияларын талдау арқылы	Ерітіндідегі полимерлік макромолекулалар мен нан бөлшектердің гидродинамикалық диаметрін және өлшемдік бөлінуін анықтау
Термикалық талдау (ТГА, ДСК)	Үлгінің массасы мен жылу ағымдарының температура өзгерістеріне байланысты өзгеруін бақылау арқылы	Термикалық тұрақтылықты зерттеу, фазалық өтулер температурасын анықтау

Спектроскопиялық әдістер полимерлік жүйелердің химиялық құрамы мен құрылымын анықтауда басты орын алады.

- Инфрақызыл (ИК) спектроскопиясы сополимер молекулаларындағы функционалдық топтарды анықтауға және нанобөлшектермен өзара әрекеттесу кезіндегі олардың қоршаған ортасындағы өзгерістерді бағалауға мүмкіндік береді. 1-винил-1,2,4-триазол мен N-винилпирролидонның нанокөмбірітеріндегі ИК спектрлерінде триазолдық және лактамдық циклдердің сипаттамалық сіңіру жолақтарының ығысуы AgNP бетімен атомдар арасындағы координациялық өзара әрекеттің белгісі болып табылады.

- Ультрафиолет (УФ) спектроскопиясы материалдардың электрондық қасиеттерін зерттеуде қолданылады. Благородты металдарды қамтитын нанокөмбірітер үшін УФ-видимді облыстағы спектрде плазмонды сіңіру жолақтары (ППП) байқалады, оның орны мен қарқындылығы нанобөлшектердің өлшемі, пішіні, концентрациясы және қоршаған ортаның диэлектрлік өткізгіштігіне тәуелді. 1-винил-1,2,4-триазол мен N-винилпирролидон негізіндегі сополимерлердің су ерітіндісіндегі нанокөмбірітерде 402–423 нм диапазонында максимумға ие PPP-ның болуы наноөлшемді күйдегі металдық күмістің қалыптасуын көрсетеді.

- Ядролық магниттік резонанс (ЯМР) спектроскопиясы атомдық деңгейдегі сополимерлер құрылымы туралы егжей-тегжейлі ақпарат береді, мономерлік бірліктердің құрамы, реті мен ерекше функционалдық топтардың бар-жоғын анықтауға мүмкіндік туғызады. Синтезделген 1-винил-1,2,4-триазол мен N-винилпирролидон сополимерлерінің ЯМР ^1H спектрлерінде винил топтарының олефиндік протон сигналдарының болмауы және негізгі полимерлік тізбектің алифатикалық протондарының ұзарған сигналдарының пайда болуы реакцияның сәтті өтіп кеткенін растайды.

Дифракциялық әдістер материалдардың кристаллдық құрылымы мен фаза құрамы туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді.

- Рентгеновдық дифракция (РД) кристаллдық фазаларды анықтау және кристаллиттердің өлшемін, соның ішінде полимер матрицасындағы метал нанобөлшектерін анықтауда қуатты құрал болып табылады. 1-винил-1,2,4-триазол мен N-винилпирролидон негізіндегі сополимерлер мен күмісті қамтитын нанокомпозиттердің рентгеновдық дифрактограммаларында, аморфты полимерлік компоненттің белгілерінен бөлек, металдық күмістің битік кубикалық торлы құрылымына сәйкес интенсивті рефлекстер байқалады.

Электронды микроскопия нанокұрылымдардың морфологиясы мен өлшемдерін тікелей бейнелеуге мүмкіндік береді.

- Өткізгіш электронды микроскопия (ПЭМ) жоғары шешімдегі суреттерді алуды қамтамасыз етеді, бұл жеке нанобөлшектердің өлшемін, пішінін және полимер матрицасындағы таралуын анықтауға мүмкіндік береді. ПЭМ әдісімен зерттеулер көрсеткендей, 1-винил-1,2,4-триазол – винилацетат сополимер негізіндегі полимерлік нанокомпозиттердегі күмістің нанобөлшектерінің өлшемі 2–28 нм ауқымында, басым алғанда 4–8 нм аралығында.

- Сканирленген электронды микроскопия (СЭМ) полимер материалдарының және нанокомпозиттердің беткі морфологиясын зерттеуге пайдаланылады. Негізгі сополимер мен нанокомпозиттің СЭМ микрофотосуреттерін салыстыру нанобөлшектердің полимер матрицасына енгізілуінің құрылымға әсерін көрсетеді.

Басқа әдістер:

- Атомды абсорбциялық талдау нанокомпозиттердің элементтік құрамын анықтау үшін, әсіресе металл мөлшерінің сандық бағасын есептеу мақсатында қолданылады.

- Гель арқылы өтетін хроматография (ГПХ) полимерлер мен сополимерлердің молекулалық салмақ сипаттамаларын (орташа салмақ молекулалық массасы (M_w) және полидисперстік) анықтауда қолданылады. Сополимеризация кезінде 1-винил-1,2,4-триазол мөлшерінің артуы өнімдердің орташа салмақ молекулалық массасын ұлғайтады.

- Динамикалық жарыстың шашырауы (ДСР) ерітіндідегі полимерлік макромолекулалар мен нанобөлшектердің гидродинамикалық диаметрін және олардың өлшем бойынша таралуын бағалауға мүмкіндік береді. 1-винил-1,2,4-

триазол мен N-винилпирролидон негізіндегі және алтынмен модификацияланған нанокөмбіріттердің ДСР әдісімен алынған бөлшектердің өлшем таралу гистограммалары моно модальді таралыммен сипатталады.

• Термикалық талдау (термогравиметриялық талдау (ТГА) және дифференциалды сканирленген калориметрия (ДСК)) полимерлер мен нанокөмбіріттердің термикалық тұрақтылығын және фазалық өтулер температураларын анықтау үшін қолданылады. ТГА мен ДСК әдісімен алынған 1-винил-1,2,4-триазол мен N-винилпирролидон сополимерлерінің зерттеулері олардың құрамына қарай термодеструкция мінез-құлқындағы өзгерістерді көрсетеді. [35]

1.3. Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің қолданылуы

Күмістен тұратын полимерлік нанокөмбіріттер медико-биологиялық және оптикалық материалдарды әзірлеуде ерекше маңызға ие. Нульвалентті күмістің ерекше қасиеттері – айқын антимикробты белсенділік пен плазмонды резонанс, полимер матрицасының көпфункционалдығы және тұрақтандыру қабілеті кең ауқымды қолдану мүмкіндіктерін береді.

Серпімді нанокөмбіріттердің қолдану салаларының бірі – биомедицина. Күміс нанобөлшектерінің антимикробты белсенділігі бірнеше механизмдерге негізделеді, оның ішінде күміс иондарының босатылуы, микроағзалардың жасуша мембранасымен өзара әрекеттесуі және белсенді оттегі түрлерінің түзілуі жатады. Полимер матрицасы нанобөлшектерді тұрақтандырып, олардың агрегациясын болдырмай, биосәйкестікті қамтамасыз етеді. Алынған полимерлік нанокөмбіріттер тестілік микроағзаларға қарсылық көрсетіп, әрі қарайғы медико-биологиялық зерттеулерге перспективалы болып табылады.

Күміс нанобөлшектері экологиялық мақсаттарда да қолданылады, мысалы, ішуге жарамды суды дезинфекциялау үшін. Антимикробты қасиеттері арқасында олар өнімдердің сақтау мерзімін ұзартатын тағамдық қаптамаларда да қолданылуы мүмкін.

Оптикалық материалдар саласында күмісті нанобөлшектердің плазмонды қасиеттері сенсорлар, оптикалық сүзгілер және басқа да құрылғыларды жасау үшін пайдалануға болады. Полимер матрица нанобөлшектердің орналасуын бақылай отырып, олардың агрегациясы мен тотығуына қарсы қорғанысты қамтамасыз етеді.[13]

Кесте 3 – Күміс нанобөлшектері бар сополимерлердің қолдану мысалдары

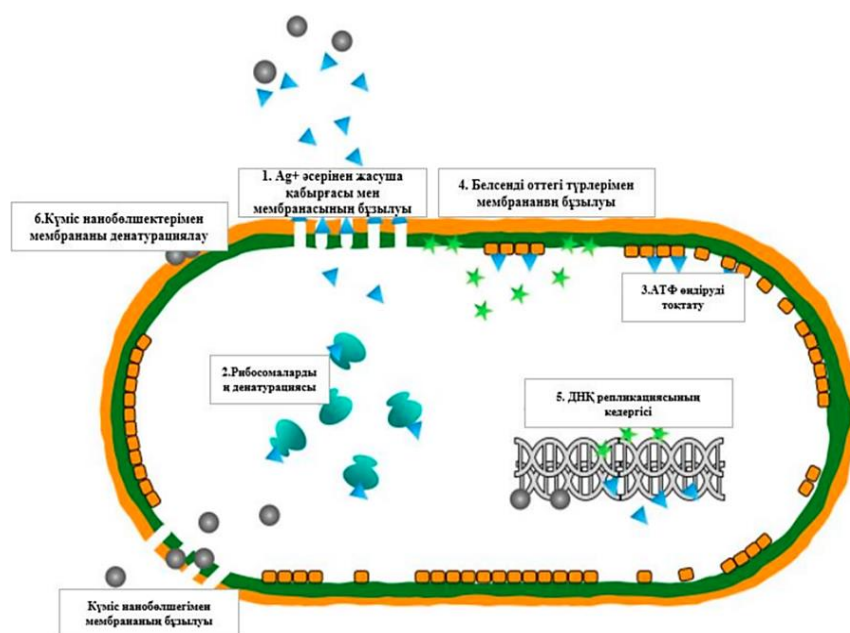
Қолдану саласы	AgNP құрамындағы сополимерлерді қолданудың артықшылықтары	Мысалдар
----------------	---	----------

3-Кестенің жалғасы

Медико-биологиялық материалдар	Антимикробты белсенділік, биосәйкестік, дәрілік заттарды жеткізуге арналған суда еритін жүйелерді жасау мүмкіндігі, байлау материалдары мен протездерді әзірлеу мүмкіндігі	1-винил-1,2,4-триазол – винилацетат сополимер негізіндегі синтезделген Ag(0) нанокөміршіктер антимикробты белсенділік көрсетеді. «Повиаргол» (НК-Ag, ПВП арқылы тұрақтандырылған) антисептик ретінде пайдаланылады. ПВП мен НК-Ag негізіндегі торлы протездер әзірленеді. [31]
Суды дезинфекциялау	Патогендік микроағзаларды тиімді жою	Ісуге жарамды суды дезинфекциялау мақсатында күміс нанобөлшектерін қолдану мүмкіндігі
Тағамдық қаптама	Антимикробты қасиеттері арқылы тағамдардың сақтау мерзімін ұзартады	Тағамдық қаптамаларда күміс нанобөлшектерін қолдану
Оптикалық материалдар	Плазмонды резонанстың ерекше оптикалық қасиеттері	Күміс нанобөлшектер негізіндегі сенсорлар мен оптикалық сүзгілерді жасау перспективасы

Жаралардың емделуі және дәрілік препараттарды жеткізу

AgNPs қамтылған композит материалдар жараларды инфекциясыз жазылуына ықпал етеді. Биосәйкестілігі жоғары сополимерлер (мысалы, поли(N-изопропилакриламид), желатин немесе поли-капролактон) қолданылатын жүйелер Ag^+ иондарын бақылаулы босатып, бактериялық жүктемені төмендетеді және фибробласттар мен кератиноциттердің пролиферациясын ынталандырады. Зерттеу деректері AgNPs пен тетрациклин сияқты антибиотиктердің комбинациясын пайдалану жараларды емдеуде синергетикалық әсер беретінін көрсетеді. [22]



Сурет - 2 – Күміс нанобөлшектерінің (AgNPs) бактерияға қарсы әрекеттері.[15]

Биосенсорлар және диагностика

Сополимерлік матрицалар мен AgNPs-тің бірлестіруі оптоэлектрондық және биосенсорлық жүйелерді жасауға мүмкіндік береді. AgNPs-тің беткі плазмондық резонансы (SPR) биомаркерлер, инфекция қоздырғыштары мен патологиялық жағдайларды анықтауда жарық шағылысуының өзгерісін бақылайды. Зерттеу нәтижелері AgNPs қамтылған сополимерлік жүйелердің биосенсорлардың жоғары селективтілігі мен сезімталдығын арттыратынын көрсетеді.

Кесте 4 – AgNPs-мен сополимерлік композиттердің биомедициналық қолданылуы

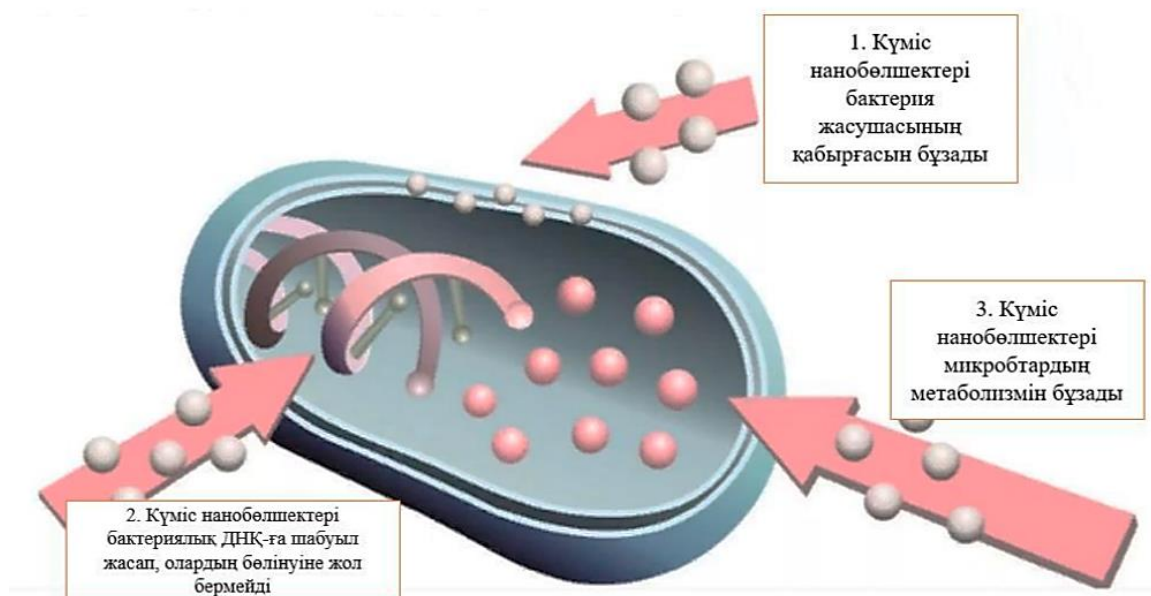
Қолданылуы	Әсер механизмі	Сополимерлік жүйелердің үлгілері
Жараларды жазылуы	Ag ⁺ босатылуы, қабынудың төмендеуі, жасушалар пролиферациясының ынталануы	Поли(N-изопропилакриламид)-AgNPs, желатин-AgNPs
Дәрілік заттарды жеткізу	Бақылаулы Ag ⁺ босатылуы, антибиотиктермен синергия	Поли(метакрилат)-AgNPs, полиэтиленоксид-AgNPs
Биосенсорлар	Беткі плазмондық резонанс, биомаркерлермен байланыс кезінде оптикалық спектр өзгерісі	Полиакриламид негізіндегі гидрогельдер с AgNPs

Қарсы ісік қасиеті	Апоптоздың индукциясы, жасушалық циклдің бұзылуы, окислительді стресс	Поли(метилметакрилат) негізіндегі гибриді жүйелер с AgNPs
--------------------	---	---

Тоқыма және тамақ өнеркәсібіндегі қолданылуы

Сополимерлік қаптамаларға инкапсуляцияланған AgNPs тоқыма бұйымдары мен орау материалдарын микробтық ластанудан қорғау мақсатында қолданылады. Тоқыма талшықтарының AgNPs бар сополимерлік жабындармен өңделуі ультракүлгін сәулеленуді бөгепп, бұйымдардың санитариялық-гигиеналық сипаттамаларын ұзақ уақыт сақтайды. Күміс нанокұрылымдарын қолдану дәстүрлі консерванттарды қолдануды азайтып, бұйымдардың көп мәрте жуылуына қарамастан микробтық ластанудың алдын алады.

Тамақ өнеркәсібінде сополимерлік қаптамалар өнімнің сақталу уақытын ұзартып, микробтарды тежейтін әсер береді. Материалдардың әсер механизмі Ag^+ иондарының бақылаулы босатылуына негізделіп, микроорганизмдер клеткаларының көбеюін және биопленкалардың құрылуын тежейді.



Сурет 3 – Күміс нанобөлшектерінің микроорганизм клеткасына әсер ету механизмі

Су және ауа тазарту жүйелерінде қолданылуы

Экологиялық қауіпсіздік пен санитарлық тазартуды қамтамасыз етуде сополимерлік жүйелер AgNPs-тің маңызды рөлін атқарады. Су тазарту жүйелерінде бұл наноматериалдар ішуге жарамды суды дезинфекциялау, ағып кеткен суды тазарту және топырақты микробтық ластанудан қорғау үшін қолданылады. AgNPs-тің адсорбция және каталитикалық қасиеттері органикалық ластаушы заттарды фотокатализ нәтижесінде ыдыратуға

мүмкіндік береді. Ауа тазартуда вентиляция жүйелері мен сүзгілер бетіне сополимерлік қабат арқылы AgNPs енгізу микробтық пленкалардың пайда болуын тоқтатады. Қалалық ауаны ластанудан қорғау мен медициналық мекемелердегі санитарлық талаптардың сақталуы үшін осы әдіс тиімді қолданылады.[16]

Медицина жабдықтары мен имплантаттарында қолданылуы

Медициналық жабдықтарды модернизациялауда AgNPs негізіндегі сополимерлік жүйелер инфекция қаупін төмендетуге мүмкіндік береді. Ортапедиялық және жүрек-қантамыр имплантаттарында AgNPs пен гидроксипатиттің комбинациясы биосәйкестілігі жоғары, остеоинтеграция процесін жеделдетіп, қабыну реакциясын азайтады. Қабаттар құрылымы көпқабатты пленкалар түрінде жасалып, микроинфекциялардың алдын алуға және антикоагуляциялық қасиеттерді қамтамасыз етуге бағытталған.

Электрохимиялық сенсорлар

AgNPs әсерінен электрохимиялық қасиеттер жоғарылайды. Сополимерлік матрицадағы AgNPs концентрациясын өзгерту материалдың электрлік өткізгіштік қасиеттерін реттеуге мүмкіндік береді. Сенсорлық жүйелердегі импеданстық өлшемдер Нейквист теңдеуіне сәйкес бағаланады, сол арқылы датчиктің жұмыс динамикасы анықталады. Бұл әдіс электрохимиялық сенсорларда, сонымен қатар биосенсорларда қолданылып, өте төмен концентрациядағы биомолекулаларды анықтауға мүмкіндік береді.

Биосенсорлар және клеткалық аналитика платформалары

Сополимерлік нанокомпозиттер биосенсор жүйелерінде биомолекулаларды иммобилизациялау үшін платформа ретінде пайдаланылады. Полимерлік матрицада AgNPs пен функционалдық топтардың өзара әрекеттесуі арқылы антителер, ферменттер, ДНК зондтары секілді биомолекулалар бекітіледі. Мұндай жүйелер оптикалық немесе электрлік өзгерістерді тіркеп, нақты биомолекулалардың байланысуын анықтайды. Бұл тәсіл жоғары сезімталдықтың қамтамасыз етілуіне және талдаудың мультипараметрлық болуына мүмкіндік береді.[32]

Нанодевайс пен 4D-басып шығару жүйелері

Заманауи технологиялардың бірі болып саналатын 4D-басып шығару жүйелерінде сополимерлік композиттер сыртқы әсерлерге байланысты өз қасиеттерін өзгертуге қабілетті. AgNPs бар сополимерлік жүйелердің микроструктурасы мен оптикалық, электрлік қасиеттерін нақты бақылау арқылы материалдың геометриясын және функцияларын басқаруға болады. Бұл технология құрылғылардың, мысалы, иілгіш дисплейлердің, ақылды сенсорлардың және биоинтерфейстердің жасалуына септігін тигізеді.

Күміс нанобөлшектері бар сополимерлік жүйелер кең ауқымдағы қолданбалы салаларда, оның ішінде антибактериалдық, биомедициналық, оптоэлектронды, каталитикалық және сенсорлық жүйелерде жоғары потенциалға ие.

Сополимерлердің синтезі барысында мономерлердің құрамын (мысалы, ДМА мен ГЭА қатынасын) және синтез шарттарын оңтайландыру арқылы

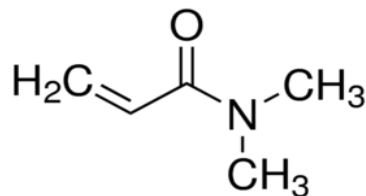
AgNPs-тің біркелкі таралуын қамтамасыз ету маңызды. Заманауи аналитикалық әдістер (TEM, SEM, XRD, FTIR, UV–Vis, TGA) қолданысқа енгізіліп, материалдың құрылымы мен функционалдық қасиеттерін нақты анықтауға мүмкіндік береді.[10]

Қорыта айтқанда, күміс нанобөлшектері бар сополимерлер көпсалалы ғылыми зерттеулердің өзекті бағыты болып табылады. Олар антибактериалдық, оптикалық, каталитикалық және сенсорлық қасиеттерімен ерекшеленіп, медициналық диагностика, дәрі-дәрмек жеткізу, протездер мен импланттар, сондай-ақ, электрохимиялық құрылғылар жасау салаларында кеңінен қолданылады. Жаңа синтездеу әдістері мен аналитикалық тәсілдер арқылы алынған материалдардың қасиеттері жоғары деңгейде басқарылып, болашақта жоғары тиімді және көп функционалды құрылғылар жасауға мүмкіндік береді.

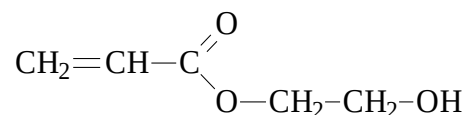
2 Тәжірибелік бөлім

2.1 Бастапқы заттар мен еріткіштердің сипаттамасы

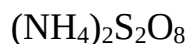
N,N-диметилакриламид (ДМА) «Sigma-Aldrich co» (АҚШ), негізгі өнімі 99 %- (Т_{қай.} 80-81°C /12мм. сынап бағанасынан $n_{D20}=1.473$).



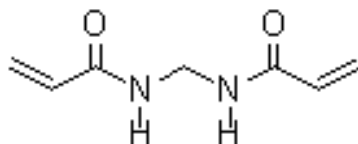
2-гидроксиэтилакрилат (2ГЭА) «Sigma-Aldrich» (АҚШ), негізгі өнімі 96 %-дан тұратын екі ретті вакуумдық айдаумен тазартылған (Т_{қай.} = 91°C/12мм. сынап бағанасынан $n_D^{20}=1,4500$).



Аммоний персульфат «ч» маркалы, («Aldrich», АҚШ) таза күйінде қолданылды.



N,N-метилен-бис-акриламид (БАА) («Reanal», Венгрия) қосымша тазалаусыз қолданылды.



Күміс нитраты (AgNO₃) «ч» маркалы, аскорбин қышқылы C₆H₈O₆ және Натрий боргидридi (NaBH₄) таза күйінде қолданылды.

2.2 ДМА және ГЭА негізіндегі сополимерлердің синтезі

Зерттеу жұмысында N,N-диметилакриламид (ДМА) және 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізіндегі тігілген сополимерлер ерітіндіде полимерлену процесі арқылы, аммоний персульфаты инициатор ретінде қатысқан жағдайда, 60°C температурада синтезделіп алынды. Тігуші агент ретінде N,N-метилен-бис-акриламидтің қажетті мөлшері қолданылды. Еркін радикалдық механизм арқылы алынған гидрогелдер мономерлердің әртүрлі ара қатынасында - БМҚ [ДМА-ГЭА] (30:70 (M1), 50:50 (M2) және 70:30 (M3) моль.%) синтезделді.

Күміс нанобөлшектерін алу процесі екі түрлі әдіспен жүзеге асырылды. Бірінші әдісте күміс нитраты (AgNO_3 ; 0,1M) мен аскорбин қышқылы (0,1M) тең көлемдік қатынаста гидрогел синтезі кезінде реакциялық ортаға қосылды. Бұл жағдайда ДМА–ГЭА негізіндегі гидрогельдің 50:50 мольдік қатынастағы құрамы (M2) пайдаланылып, алынған үлгі M4 деп белгіленді. Мұнда нанобөлшектер гель торына синтез кезінде тікелей енгізіледі.

Екінші әдісте күміс нанобөлшектері AgNO_3 -тің NaBH_4 -пен (0,1M) тотықсыздандырылуы арқылы алынды. Алдымен гидрогелдер күміс нитратымен бірге синтезделіп, реакцияға қатыспай қалған мономерлерден тазартылды және тұрақты массаға дейін кептірілді. Кейін бұл гидрогел NaBH_4 ерітіндісіне салып өңделіп, нәтижесінде нанобөлшектер гелдің ішіне енгізілді. Бұл гидроелде ДМА мен ГЭА ның мөлшері 50-50мол.% болатын мөлшері қолданылған. Сонымен бірге басқалармен салыстыру мақсатында M5 деп белгіленген.

2.3 Физика-химиялық зерттеулер әдістері

Синтезделген сополимердің құрлысын, құрамын, құрлымын анықтауда ИК-спектрлер әдісі де қолданылып, «Alpha FTIR Bruker» (Германия) аппаратында 4000-400 см⁻¹ диапазонында спектрлер жазылып, талдау жасалды. Мұнда гидрогелдердің аздаған мөлшеріне тікелей анализ жасалды.

Термиялық тұрақтылығы термогравиметриялық талдау (TGA) әдісі арқылы бағаланды. зерттеулер азот атмосферасында 6000-СТА жылу анализаторында жүргізілді. Үлгілер 30 °C-ден 700 °C-ге дейін, минутына 20°C жылдамдықпен бірқалыпты түрде қыздырылды.

Синтезделген гидрогелдің беттік морфологиясын және нанобөлшектердің гел құрамына енгенін сипаттау мақсатында жасалды. «JSM-6610», JEOL (Жапония) аппараты қолданылды.

Гидрогельдердің тепе-теңдікті ісіну дәрежесін анықтау үшін полимердің салмақты мөлшерін еріткіште тепе-теңдікті ісіну қалыптасқанға дейін ұсталынған. тепе-теңдікті ісіну дәрежесін мына формула бойынша анықталынды:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} * 100\%$$

мұнда: α – гелдің тепе-теңдік ісіну дәрежесі;

m – бір қалыпты ісінген полимер үлгісінің массасы;

m_0 – құрғақ кепкен заттың салмағы;

Полимердегі құрғақ заттың массасын үлгілерді тұрақты массаға дейін кептіргеннен кейін өлшейді.

ДМА-2ГЭА гидрогельдерінің антибактериялық және дәрілік заттарды тасымалдау қабілетін сипаттау мақсатында жасалған.

Антибактериялық сынақтар

Синтезделген гидрогельдер белгілі бір диаметрге ие болатындай етіп таблетка түрінде кесіліп дайындалды. Құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз гидрогель үлгілері тұрақты массаға дейін кептірілді. Тұрақты массаға жеткен соң, үлгілердің бір бөлігі 1 мл көлеміндегі дистилденген суға, ал екінші бөлігі 1 мл көлеміндегі дәрілік заттардың ерітіндісіне салынды. Ертіндіде сақталу уақыты 24 сағат. Толық ісініп, ылғалданған гидрогельдер стандартталған әдістеме бойынша дайындалған грамоң және грамтеріс бактериялар штаммдарына салынып, олардың микробқа қарсы белсенділігі бағаланды.

3 Алынған нәтижелер және оларды талқылау

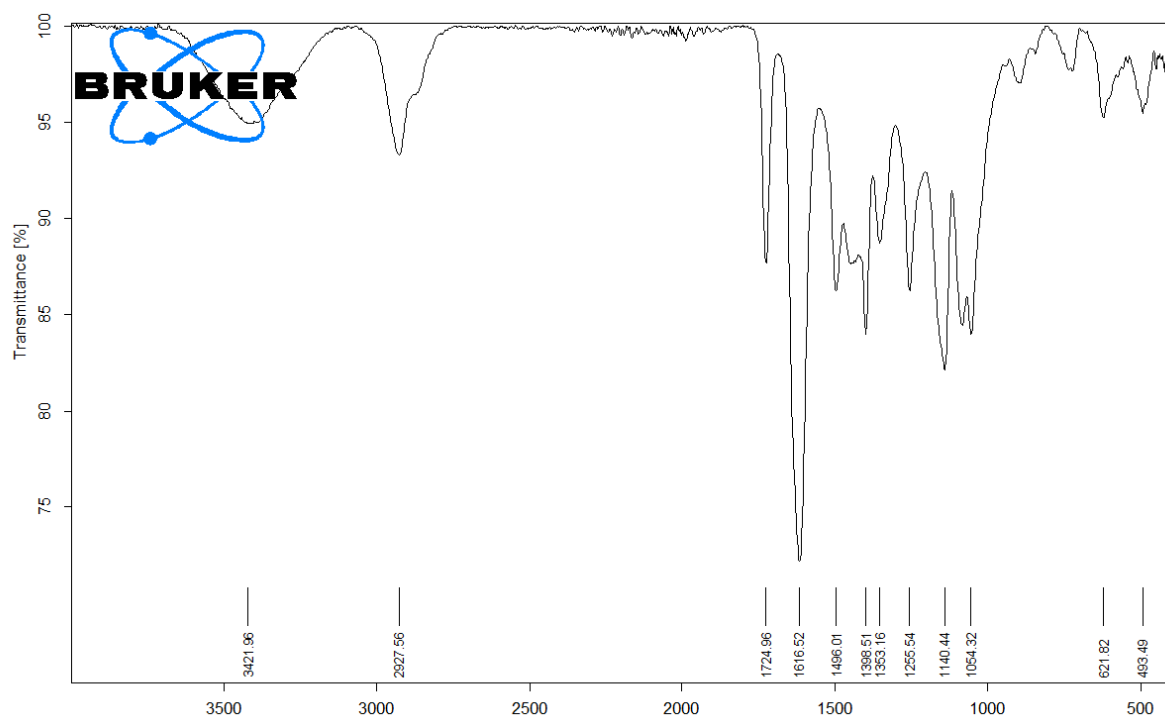
3.1 N,N-диметилакриламид негізіндегі сополимерлердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Қазіргі таңда қоршаған орта мен адам өмірінің әртүрлі салаларында қолданылатын гель тәрізді материалдар ерекше маңызға ие. Әсіресе, торлы құрылымға ие сополимерлердің қолдану аясы өте кең. Мұндай материалдардың маңызды қасиеттері оларды медицинада (дәрілік заттарды бақылап жеткізу), биотехнологияда (ақуыздар мен ферменттерді бөлу және тазалау), электроникада (сенсорлар мен датчиктер), сондай-ақ экологиялық мәселелерді шешуде (өндірістік қалдықтарды тазарту және т.б.) тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл материалдарға деген жоғары сұраныс көптеген зерттеушілердің назарын аударуда.

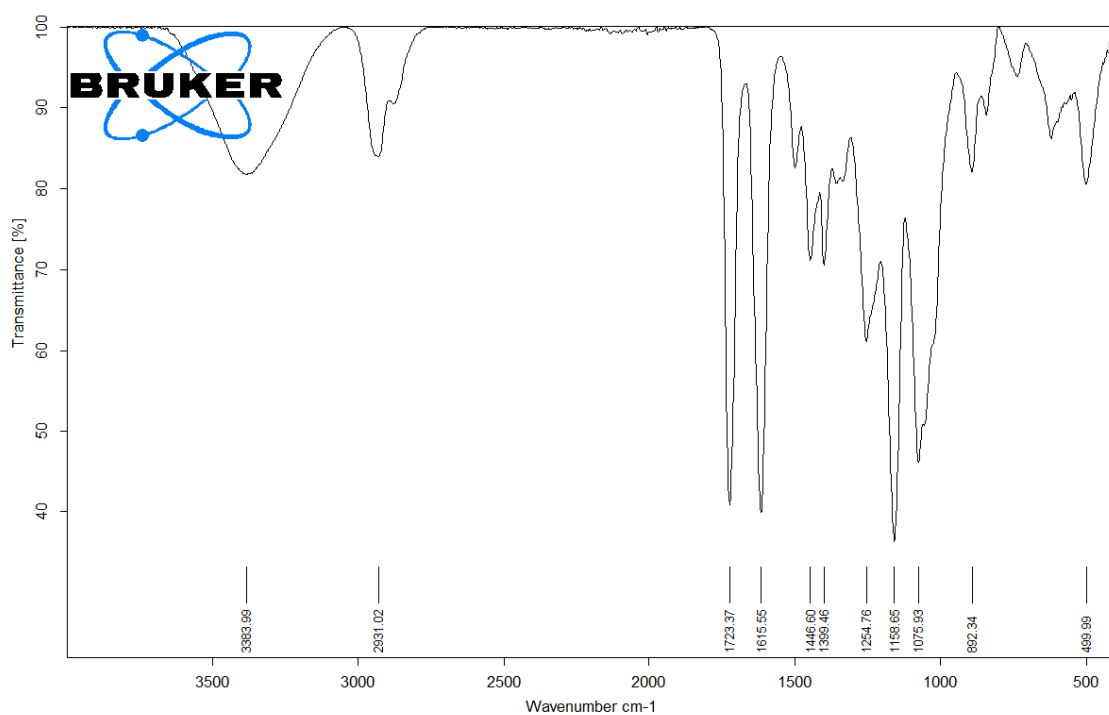
Зерттеу жұмысында N,N-диметилакриламид (ДМА) және 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) негізіндегі тігілген сополимерлер ерітіндідегі полимерлену процесі арқылы, аммоний персульфаты инициатор ретінде қолданылып, 60 °C температурада синтезделіп алынды. Тігуші агент ретінде N,N-метилен-бис-акриламидтің қажетті мөлшері қолданылды. бастапқы мономерлік құрамы ДМА-ГЭА болатын мономерлердің әртүрлі ара қатынасындағы гидрогелдер синтезделіп алынды. Күміс нанобөлшекиері 2 түрлі әдіс арқылы гидрогел құрамына енгізілді.

Алынған сополимерлердің құрылымын және химиялық құрамын анықтау үшін инфрақызыл (ИК) спектроскопиясы әдісі қолданылды. Бұл әдіс полимерлерді зерттеуде бұрыннан қолданылып келе жатқанымен, қазіргі таңда да өз өзектілігін жоғалтпаған. Зерттелетін үлгілердің функционалдық топтарын анықтау мақсатында ИК-спектроскопиялық талдау жүргізілді.

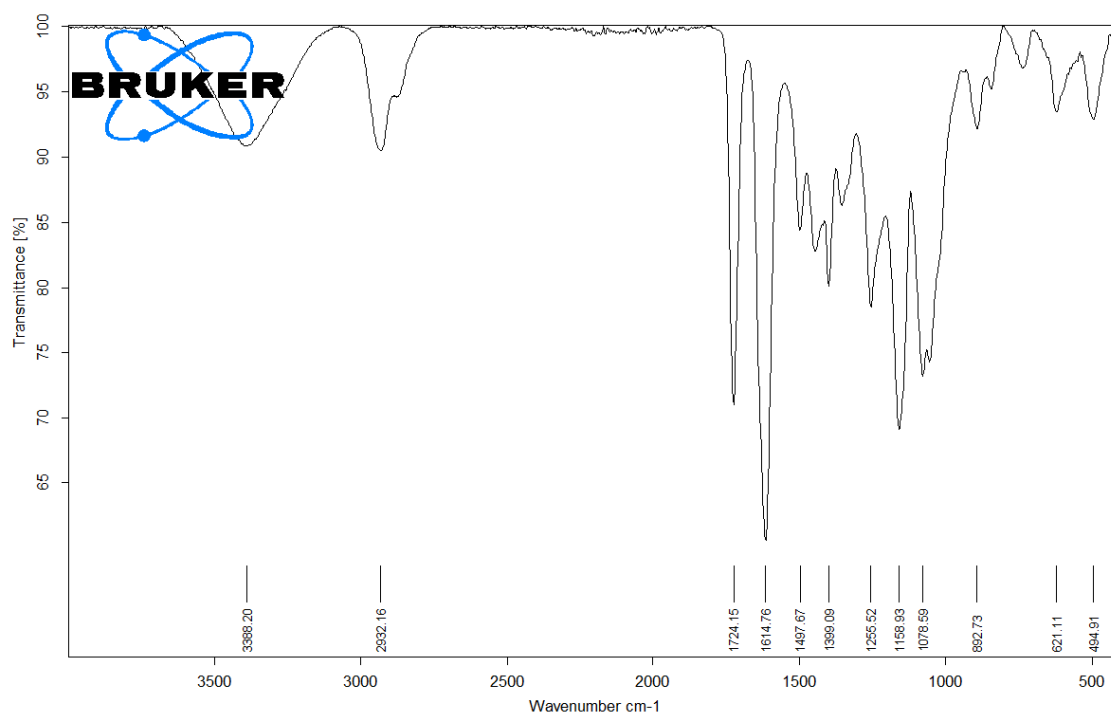
Жүргізілген инфрақызыл (ИК) спектроскопиялық зерттеулер нәтижесінде барлық үлгілер үшін полимерлі жүйелерге тән сіңіру жолақтары анықталды. Ең маңызды ерекшеліктер $4000\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ және $1800\text{--}800\text{ см}^{-1}$ аралығындағы диапазондарда байқалды, бұл сутектік байланыстарға, сондай-ақ карбонил (C=O), гидроксил (O–H), амин (N–H) және эфирлік (C–O) топтардың тербелістік жиіліктеріне байланысты.



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 70:30 мол.%
 Сурет- 4-ДМА мен 2ГЭА гидрогелінің ИК- спектрі

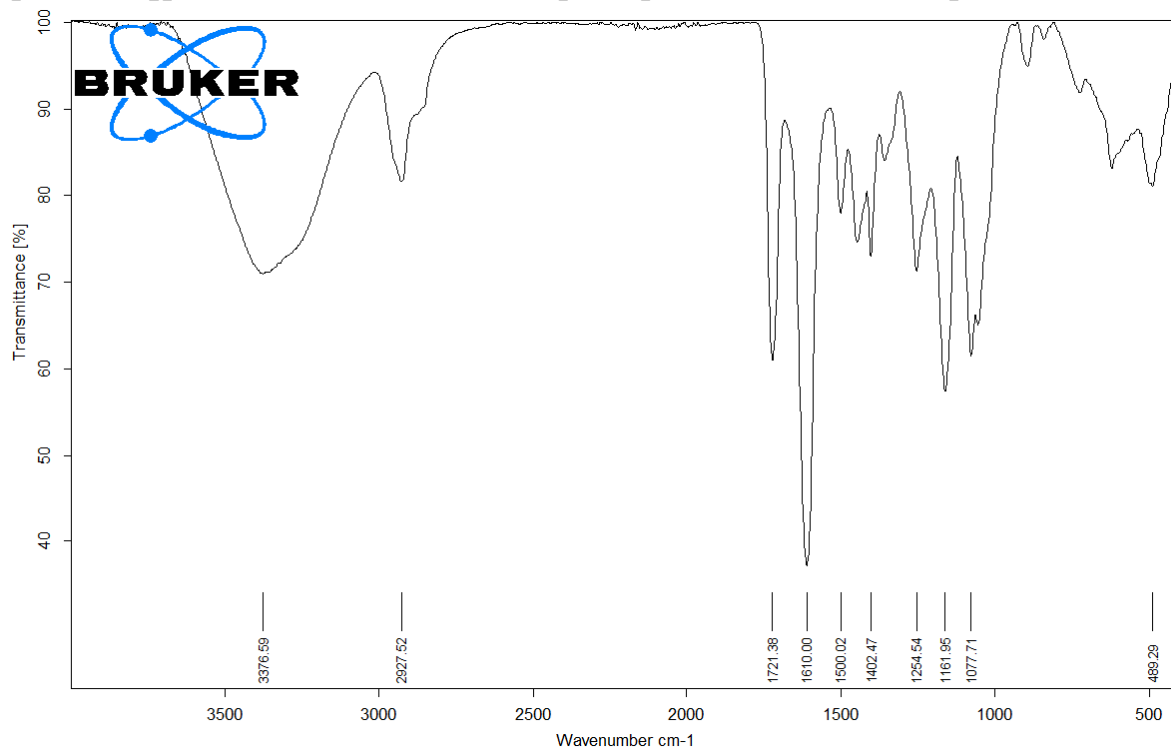


БМҚ [ДМА-ГЭА]= 30:70 мол.%
 Сурет- 5-ДМА мен 2ГЭА гидрогелінің ИК- спектрі



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.% (М4)

Сурет- 6- құрамында нанобөлшегі бар гидрогелдің ИК- спектрі



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.% (М5)

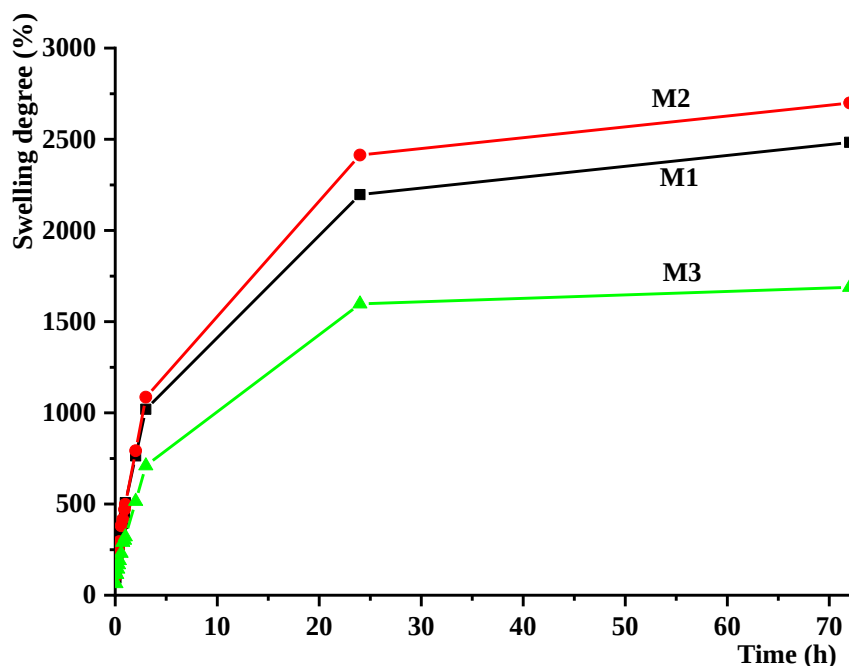
Сурет- 7- ұрамында нанобөлшегі бар гидрогелдің ИК- спектрі

Құрамында AgNO_3 +аскорбин қышқылы бар үлгі спектр $\text{O}-\text{H}$ және $\text{C}=\text{O}$ аймақтарында қарқындылықтың төмендеуімен сипатталады. Бұл Ag^+ иондарының қалпына келіп, Ag^0 бөлшектеріне айналып, матрица ішіндегі функционалдық топтармен әрекеттесу мүмкіндігін білдіреді.

$\text{AgNO}_3+\text{NaBH}_4$ қосылған үлгіде барлық диапазондарда спектрлік қарқындылықтың төмендеуі байқалады. Сонымен қатар, жаңа шындардың пайда болуы күміс нанобөлшектерінің түзілуі мен олардың полимерлік құрылыммен белсенді әрекеттесуін растайды.

70/30 және 30/70 мономерлік қатынастарымен алынған үлгілер арасында ИК-спектрлерінде айтарлықтай айырмашылықтар байқалды. Бұл мономерлік құрам мен полимер торының тығыздығы арасындағы өзара байланысты көрсетеді. Атап айтқанда, 30/70 үлгісі 3400 см^{-1} маңында ең қарқынды кең жолаққа ие болып, гидроксил топтарының көбірек болуын растайды.

Сулы ортадағы ісіну кинетикасын зерттеу гидрогельдердің қолданбалы қасиеттерін бағалауда аса маңызды. Себебі гидрогельдердің ең басты ерекшеліктерінің бірі – үлкен көлемде суды сіңіріп, ісіне алу қабілеті. Бұл қасиет материалдың торлы құрылымы мен полимер тізбектерінің гидрофильділігіне тікелей байланысты. Ісіну кинетикасын зерттеу арқылы гидрогельдің тепе-теңдікке жету уақыты, максималды су сіңіру мөлшері және құрылымдық тұрақтылығы сияқты негізгі көрсеткіштер анықталады. Бұл деректер биомедицина, фармацевтика және ауыл шаруашылығы сияқты салаларда қолданылатын материалдардың функционалдық тиімділігін алдын ала болжауға мүмкіндік береді.



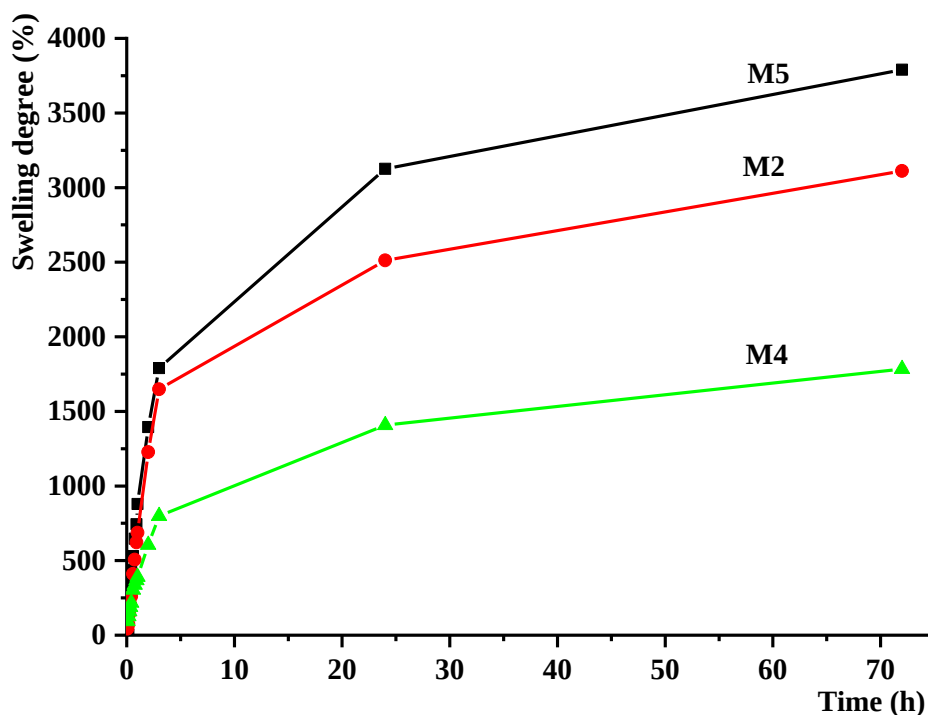
БМҚ [ДМА-ГЭА]= 30:70 (M1); 50:50 (M2) және 70:30 (M3);мол.%.

Сурет -8- ДМА-2 ГЭА гидрогелінің сулы ортадағы ісіну кинетикасы

Берілген графикте әртүрлі мономерлік қатынаста синтезделген ДМА-ГЭА гидрогельдерінің (M1 – 30:70, M2 – 50:50, M3 – 70:30) ісіну дәрежесінің уақытқа байланысты өзгерісі 8-суретте көрсетілген. Жалпы, барлық үлгілер ісіну қабілетіне ие болғанымен, оларда байқалатын ісіну дәрежесі мен тепе-теңдікке жету уақыты әртүрлі. M2 үлгісі (50:50) ең жоғары ісіну дәрежесін (~2800%) көрсетті, бұл оның тор құрылымы мен гидрофильді топтардың оңтайлы қатынаста екенін білдіреді. M1 үлгісінде (30:70) бұл көрсеткіш аздап төмен болғанымен (~2500%), гидрогель құрылымының әлі де жақсы ісінуге бейімді екенін көрсетеді. Ал M3 үлгісі (70:30) ең төмен ісіну дәрежесін (~1600%) көрсетті, бұл гидрофильділік азайып, торлы құрылым тығыздылығы артқанын көрсетеді.

Барлық үш үлгіде ісіну процесі ең белсенді түрде алғашқы 24 сағатта жүреді. Осы кезеңде гидрогельдер 70–90% шамасындағы тепе-тең ісіну дәрежесіне жетеді. M1 және M2 үлгілерінде ісіну бұл уақыттан кейін де жалғасып, 70 сағатта біртіндеп тепе-теңдікке жетсе, M3 үлгісінде ісіну шамамен 24 сағатта тоқтап, тұрақты күйге көшеді. Бұл нәтижелер гидрогельдің құрамындағы мономерлердің арақатынасы оның су сіңіру қабілетіне және ішкі құрылымына тікелей әсер ететінін дәлелдейді. Демек, ДМА мен ГЭА мономерлерінің оңтайлы қатынасы гидрогельдің ісіну қасиетін арттыруда маңызды рөл атқарады.

Бұл графикте ДМА-ГЭА негізіндегі әртүрлі үлгілердің (M2, M4, M5) сулы ортада ісіну дәрежесінің уақытқа тәуелділігі 9-суретте көрсетілген.



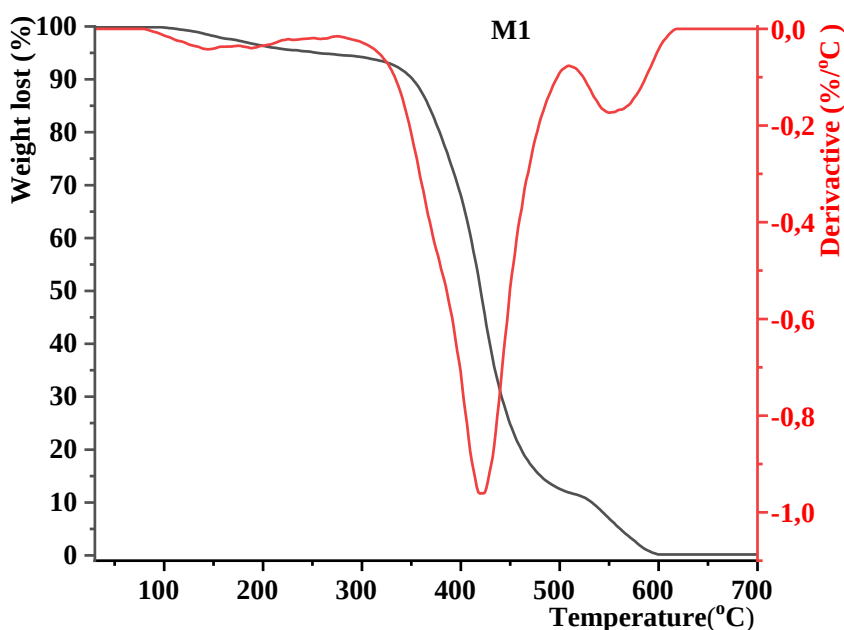
БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.% [M2]; 50:50 мол.%, AgNPs by Ask [M4] және AgNPs by NaBH₄ [M5];

Сурет -9- Құрамында күміс нанобөлшегі бар (M4, M5) және күміссі (M2) гидрогелдің сулы ортадағы ісіну кинетикасы

М2 – құрамында күміс нанобөлшектері жоқ гидрогель, ал М4 пен М5 – құрамында күміс нанобөлшектері бар үлгілер (М4 – синтез кезінде AgNO_3 + аскорбин қышқылы арқылы енгізілген, М5 – кейіннен NaBH_4 -пен тотықсыздандырылған). Алынған нәтижелерге сүйенсек, барлық үлгілерде ісіну көрсеткіші алғашқы сағаттарда қарқынды өсіп, 24 сағаттан кейін баяулап, 72 сағатта тұрақталған.

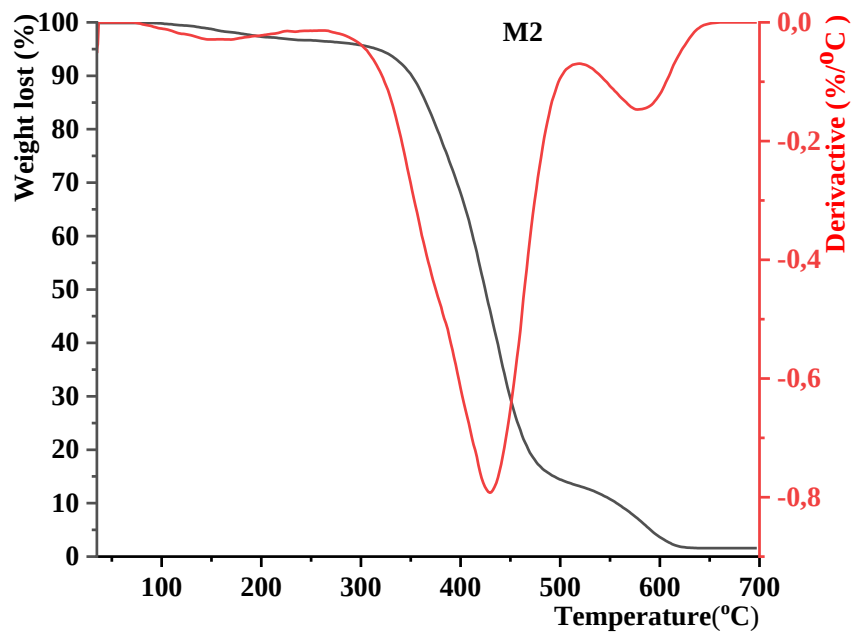
Салыстырмалы түрде М5 үлгісі ең жоғары ісіну дәрежесін (~3800%) көрсетіп, гидрогель торында кеңірек бос кеңістік барын және су молекулаларын жақсы сіңіретінін көрсетеді. Бұл әдіспен енгізілген күміс нанобөлшектері полимер құрылымын қатты тығыздамай, ісінуге кедергі келтірмеген. Ал М4 үлгісі ең төмен ісіну көрсеткішіне ие (~1600%), бұл аскорбин қышқылы арқылы алынған нанобөлшектердің тор құрылымын тығыздауы немесе ішкі құрылымды өзгертумен байланысты болуы мүмкін. Осылайша, күміс нанобөлшектерін енгізу әдісі гидрогельдердің ісіну қабілетіне айтарлықтай әсер етеді.

Термогравиметриялық талдау (TGA) гидрогель үлгілерінің қыздыру процесіндегі термиялық тұрақтылығын, сондай-ақ полимер торындағы компоненттердің фазалық және химиялық өзгерістерін сипаттау үшін қолданылды. Термиялық тұрақтылығы 10-14 суреттерде және 6 кестеде сатылы ыдыраудың барлық кезеңдері толық көрсетілген.



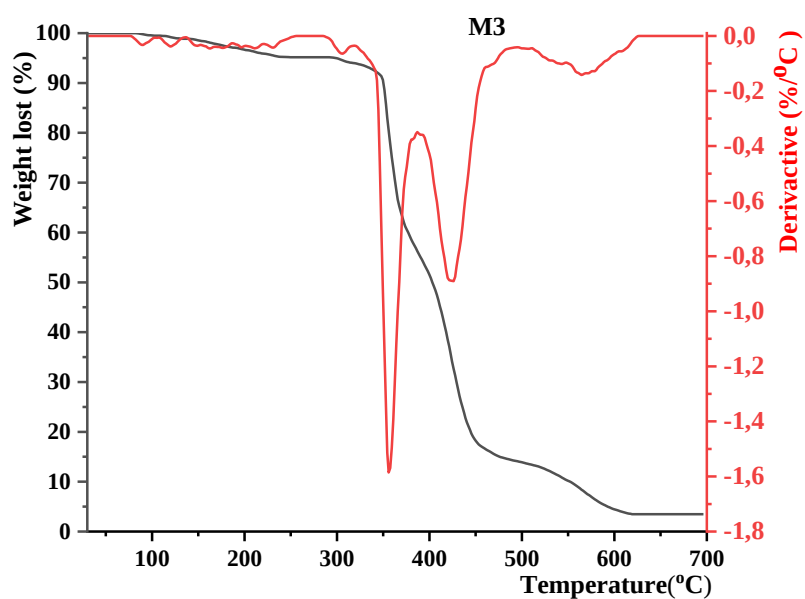
БМҚ [ДМА-ГЭА]= 70:30 мол.%. (М1)

Сурет -10- ДМА-2 ГЭА гидрогелінің термогравиметриялық талдауы



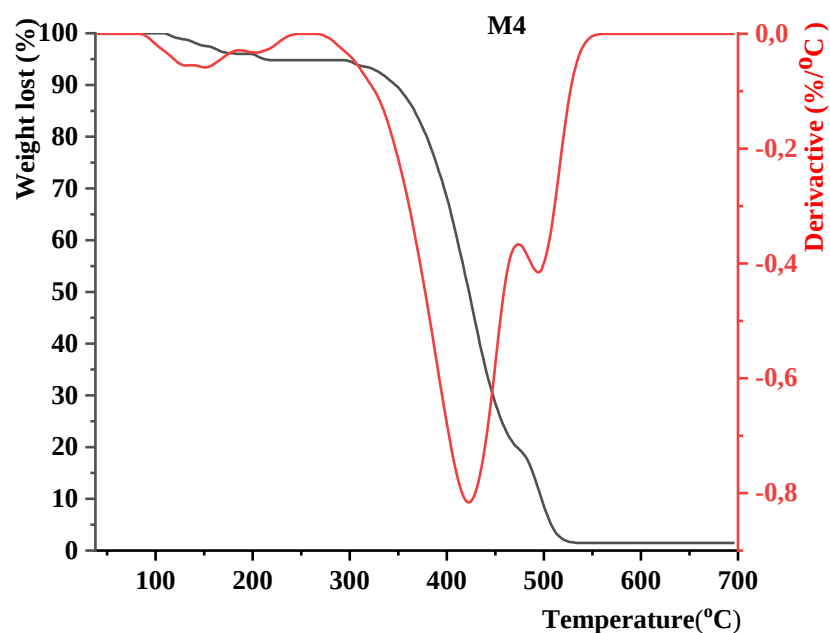
БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.%. (М2)

Сурет -11- ДМА-2 ГЭА гидрогелінің термогравиметриялық талдауы



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 30:70 мол.%. (М3)

Сурет -12- ДМА-2 ГЭА гидрогелінің термогравиметриялық талдауы



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.%, AgNPs (M4)
Сурет -13- ДМА-2 ГЭА гидрогелінің термогравиметриялық талдауы

Кесте-6- Синтезделген сополимерлердің термиялық тұрақтылығы

	БМҚ [ДМА-ГЭА] моль.%	PDTmax (°C)	Temperature Decomposition (°C)	Weight lost (%)	Residual (%)
1	30/70 (M1)	420	30-160	3	97
			160-350	8	89
			350-509	78	11
			509-700	10,72	0,28
2	50-50 (M2)	430	30-160	2	98
			160-350	8	90
			350-509	76	14
			509-700	12,4	1,6
3	70-30 (M3)	350 және 421	30-160	2	98
			160-350	8	90
			350-509	77	13
			509-700	9,75	3,25
4	50-50 (M4) with AgNPs	423	30-160	4	96
			160-350	7	89
			350-509	84	4,2
			509-700	2,8	1,4

Зерттелген ДМА–ГЭА негізіндегі сополимерлер (M1–M4) төрт негізгі термиялық ыдырау кезеңінен өтетіні байқалды. Алғашқы 30–160 °C

аралығында 2–4% салмақ жоғалту тіркеліп, бұл ылғал заттардың булануына байланысты. 160–350°C аралығында функционалдық топтардың, бүйірлік тізбектердің ыдырауы жүреді. Сонымен бірге, мұнда аздаған жоғалу байқалады (7–8%). Ең көп мөлшерде ыдырауды көрсететін температуралық аралық 350–509 °C. Бұл негізгі полимер тізбегінің ыдырауы, мұнда салмақ жоғалту 76–84% аралығында байқалды. Соңғы кезең температуралық аралық 509–700 °C. Мұнда қалдық өнімдердің ыдырауы мен толық тотықсыздануы өтетін саты болып табылады.

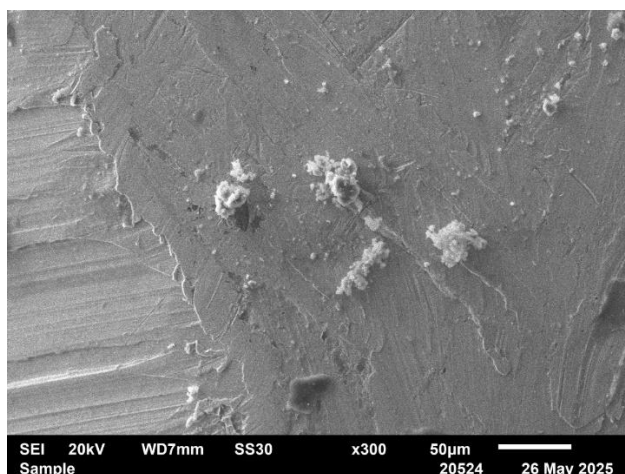
Ең жоғары ыдырау температурасы (PDTmax) бойынша жоғарғы мәнге (430 °C) M2 үлгі ие болатынын байқауға болады. Бұл ДМА мен ГЭА мономерлерінің тең қатынаста болуы материалдың ішкі құрылымының оңтайлы реттелуін қамтамасыз ететінін көрсетеді. M1 (30/70) және M4 (50/50 + AgNPs) үлгілерінің PDTmax көрсеткіштері де жоғары (420 °C және 423 °C). Ал M3 (70/30) екі түрлі ыдырау максимумын көрсетті (350 °C және 421 °C), бұл құрылымда аралас фазалар немесе бірнеше ыдырау механизмдерінің қатар жүру мүмкіндігін білдіреді.

Сополимерлердің толық ыдырауға бейімділігі қалдық мөлшерімен дәлелденеді. M1 үлгісінде ең төменгі қалдық (0,28%) тіркеліп, материалдың толық дерлік ыдырағанын көрсетеді. Күміс нанобөлшектерімен модификацияланған үлгісінде (M4) қалдық мөлшері біршама жоғары (4,2%) болды. Бұл металл нанобөлшектерінің ыдырау процесіне әсерін білдіреді.

Жалпы алғанда, 50/50 қатынасындағы M2 үлгісі мен AgNPs қосылған M4 үлгісі термиялық тұрақтылығы жоғары материалдар ретінде ерекшеленеді және оларды жоғары температурада қолдануға болады.

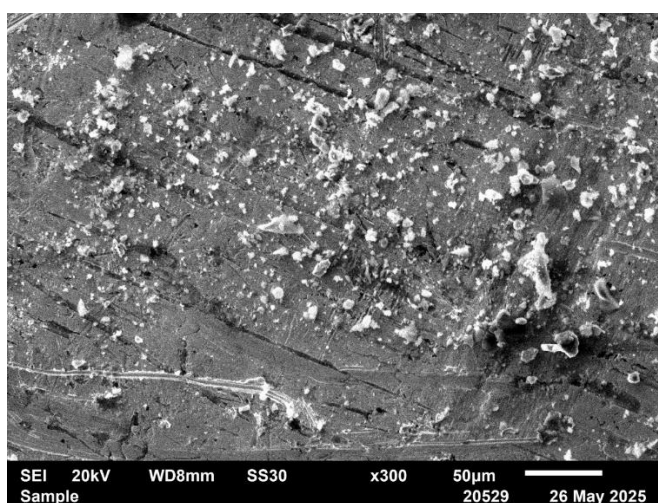
Материалдардың морфологиялық қасиеттерін зерттеуде сканирлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) әдісі — жоғары дәлдіктегі ақпарат беретін сенімді құрал болып табылады. Бұл әдіс үлгінің бетіндегі микроструктураны, бөлшектердің формасы мен өлшемін, кеуектілігін, беткі біртектіліктерді және агрегация деңгейін визуализациялауға мүмкіндік береді.

СЭМ арқылы алынған кескіндер материалдың құрылымдық ерекшеліктерін сапалы сипаттап қана қоймай, сонымен қатар синтез немесе модификация нәтижесінде пайда болған өзгерістерді салыстыруға мүмкіндік береді. Әсіресе, нанобөлшектермен модификацияланған полимерлік жүйелерде бұл әдіс нанобөлшектердің таралуын, орналасуын және өзара әрекеттесуін бағалауға мүмкіндік береді.



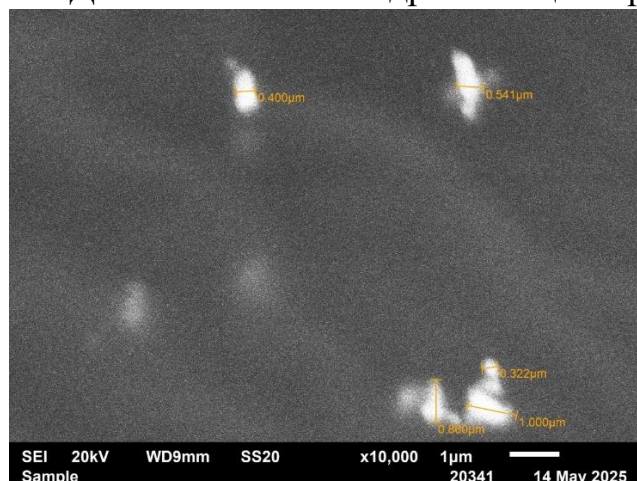
БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол. %

Сурет -14- ДМА және 2ГЭА гидрогелінің микросуреті



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол. % (М5)

Сурет- 15- ДМА және 2ГЭА гидрогелінің микросуреті



БМҚ [ДМА-ГЭА]= 50:50 мол. % AgNPs (M4)

Сурет-16 гидрогелдің микросуреті

Микросуретте (14-сурет) полимерлік бетінің біртекті және тегіс екені байқалады. Аумақ бойында терең жарықшалар мен микросызықтар байқалады, бұл кептіру немесе механикалық өңдеу процесінде пайда болуы

мүмкін. Кеуектілік айқын көрінбейді, бұл гидрогельдің тығыз торланған құрылымын немесе су молекулаларын аз ұстайтындығын көрсетуі мүмкін. Күміс иондары немесе нанобөлшектер болмағандықтан, бетінде бөлшектердің жиналуы немесе агрегациясы байқалмайды. Бұл үлгінің бастапқы гидрофильділігі мен құрылымдық қарапайымдылығын көрсетеді.

15 суретте AgNO_3 мен NaBH_4 енгізілгеннен кейінгі құрылым көрінісі берілген. Мұндағы негізгі ерекшелік — беткі қабатта айқын байқалатын ақшыл түйіршіктер мен агрегаттар, олар күміс нанобөлшектерінің (AgNPs) түзілуіне сәйкес келеді. Бұл бөлшектер гелдің ішінде біркелкі таралмаған, кейбір аймақтарда агрегацияланған түрде топталған, бұл NaBH_4 арқылы жүретін жылдам тотықсыздану процесіне тән.

Сонымен қатар, үлгі бетінің құрылымы алдыңғыға қарағанда бұдырлырақ және микрожарықшалар көбірек. Бұл модификация нәтижесінде тордың тығыздалуы мен күміс нанобөлшектерімен кросс-байланыстың артуына байланысты болуы мүмкін. Мұндай құрылым су мен басқа молекулаларды тасымалдауда ерекше қасиеттерге ие болуы мүмкін, сонымен қатар антимикробтық белсенділіктің жоғарылауына ықпал етеді.

16 суретте құрамына күміс нитраты мен аскорбин қышқылы енгізілген гидрогель үлгісінің беткі морфологиясы бейнеленген. Бұл сурет жоғары үлкейту жағдайында (шамамен $\times 10,000$) түсірілген, сондықтан гидрогель матрицасының микроқұрылымы мен онда орналасқан бөлшектер анық көрінеді. Суретте әртүрлі өлшемдегі ашық түсті дақтар немесе түйіршіктер түрінде бөлшектердің болуы байқалады. Олардың диаметрі шамамен $0.3\text{--}1.0\text{ мкм}$ аралығында ауытқиды, бұл күміс нанобөлшектерінің (Ag^0) түзілуін көрсететін типтік өлшем диапазонына сәйкес келеді.

Бөлшектердің микроскопиядағы контрастылығы — яғни олардың матрица фонынан айқын ерекшеленуі — күміс иондарының (Ag^+) аскорбин қышқылы арқылы толық немесе жартылай тотықсыздану нәтижесінде күміс атомдарының (Ag^0) қалыптасқанын дәлелдейді. Бұл процесс барысында пайда болған нанобөлшектердің пішіні көбіне дөңгелек немесе сәл бұрышты болып келеді, бұл олардың табиғи түрде агрегаттанбай, жеке дискретті түрде пайда болғанын білдіреді.

Алайда, бөлшектер матрица көлемінде біркелкі таралмаған. Кейбір аймақтарда олардың жиналып, топталғаны байқалады. Мұндай құбылыс тотықсыздану реакциясы кезінде иондардың бір жерде жинақталуымен немесе полимер торының белгілі бір аймақтарында күміс иондарының артық мөлшерде локализациялануымен байланысты болуы мүмкін.

3.2 Гидрогельдердің антибактериалды және имобилизациялық қасиеттерін зерттеу

Соңғы жылдары биомедициналық материалдарға қойылатын талаптардың артуына байланысты, гидрогелдер ерекше қызығушылық тудырып отыр. Олардың жоғары су сіңіргіштік қасиеті, биосәйкестілігі мен құрылымының икемділігі түрлі қолдану салаларында, соның ішінде жараны емдеу, тін инженериясы және дәрілік заттарды тасымалдау жүйелерінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Гидрогелдердің антибактериялық қасиеттері — олардың клиникалық тиімділігі мен қауіпсіздігі үшін маңызды факторлардың бірі. Ағзада патогенді микроорганизмдердің көбеюін шектеу қабілеті, әсіресе жарақатпен жанасатын немесе ұзақ мерзімді имплантацияда қолданылатын материалдар үшін аса өзекті. Бұл мақсатта гидрогель құрамына күміс нанобөлшектері сияқты антимикробтық агенттерді енгізу кеңінен зерттелуде.

Сонымен қатар, имобилизациялық қасиеттері — гидрогельдердің биотехнология мен ферментативті процестердегі маңызын айқындайды. Биокатализаторлар мен тірі жасушаларды құрылымға енгізу арқылы оларды тұрақтандыру, қайта қолдану және нақты ортада белсенді күйде ұстау мүмкіндігі туындайды. Мұндай жүйелер биосенсорлар, ферменттік реакторлар және жасушалық терапия салаларында перспективалы бағыт болып табылады.

Осы зерттеу жұмысында синтезделген гидрогелдердің антибактериялық және имобилизациялық қасиеттері кешенді түрде талданды. Бұл олардың биомедициналық және биотехнологиялық қолдану мүмкіндіктерін бағалауға мүмкіндік берді.



А- Линкомицин

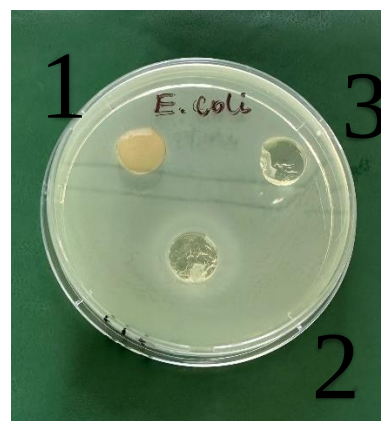
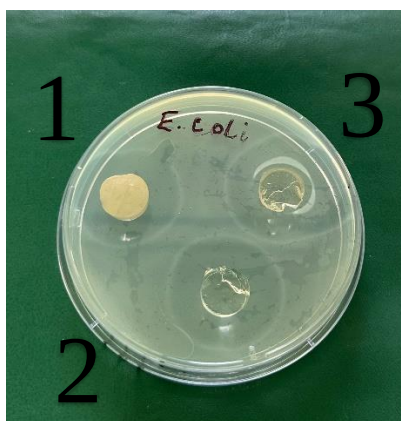
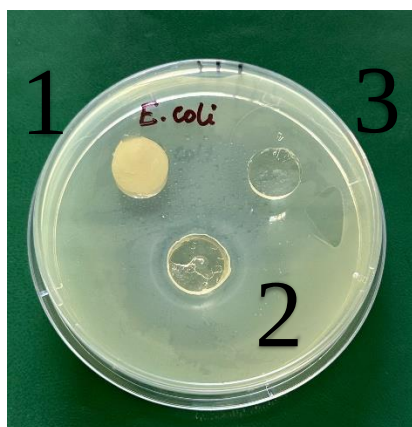


Б- Гентамицин



С-Су

Сурет-17-БМК[ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.% құрамында күміс нанобөлшегі бар гидрогель (1) (аскорбин қышқылы), натрий боргидрид арқылы(2) және нанобөлшексіз гидрогель(3)



А- Линкомицин

Б- Гентамицин

С- Су

Сурет-18-БМҚ[ДМА-ГЭА]= 50:50 мол.% құрамында күміс нанобөлшегі бар гидрогель (1) (аскорбин қышқылы), натрий боргидрид арқылы(2) және нанобөлшексіз гидрогель(3)

Кесте-7- Синтезделген сополимерлердің антибактериалдық қасиеттерінің сипаттамасы

Үлгі	Сұйық орта	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	Антибиотиктің иммобилизациясы
ДМА-ГЭА	Су	0мм	0мм	Жоқ
ДМА-ГЭА	Гентамицин	34мм	33мм	Жоғары
ДМА-ГЭА	Линкомицин	35мм	0мм	Орташа
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + AA	Су	0мм	0мм	Жоқ
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + AA	Гентамицин	33мм	30мм	Жоғары
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + AA	Линкомицин	32мм	0мм	Орташа
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + NaBH ₄	Су	0мм	21мм	Төмен
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + NaBH ₄	Гентамицин	32мм	33мм	Жоғары
ДМА-ГЭА + AgNO ₃ + NaBH ₄	Линкомицин	40мм	22мм	Орташа

Күміс иондары мен дәрілік заттар қосылмаған таза ДМА-ГЭА 50/50 гидрогелі айқын бактерияға қарсы белсенділік байқатқан жоқ. Дегенмен, антибиотиктер қосылған сұйық ортада бактериялардың өсуі аздап тежелді. Бұл құбылыс гидрогельдің ішкі құрылымының ылғалды сақтап тұру және антибиотик молекулаларын уақытша ұстап тұру қабілетіне байланысты болуы мүмкін.

Күміс нитраты мен аскорбин қышқылымен модификацияланған үлгі орташа деңгейде антимикробтық белсенділік көрсетті. Әсіресе бұл әсер *Staphylococcus aureus* штаммына қатысты айқын байқалды. Мұндай белсенділік, ең алдымен, күміс иондарының аскорбин қышқылы арқылы біртіндеп металлдық күміс нанобөлшектеріне (Ag^0) дейін тотықсыздануымен түсіндіріледі. Бұл бөлшектер бактерицидтік қасиетке ие. Сонымен қатар, гентамицин секілді антибиотиктермен бірге қолданылғанда күшейтілген әсер – яғни синергизм – байқалды. Бұл жағдайда бактериялардың өсуі айтарлықтай тежеліп, тежелу аймақтары үлкейе түсті. Мұндай нәтиже белсенді заттардың гидрогель ішінде тиімді сақталып, бір-бірінің әсерін толықтыратынын көрсетеді.

Күміс нитраты мен натрий боргидридімен өңделген үлгі зерттелген барлық үлгілердің ішінде ең жоғары бактерияға қарсы белсенділікке ие болды. Бұл – күміс иондарының боргидрид арқылы тез арада қалпына келіп, тығыз агрегацияланған нанобөлшектер түзуімен байланысты. Нәтижесінде күшті бактерицидтік әсер байқалып, әсіресе *S. aureus* колонияларының өсуі айтарлықтай тежелді. Сонымен қатар, бұл үлгінің *Escherichia coli*-ге қарсы да тиімділігі жоғары болғанымен, грам-теріс микроорганизмге қарсы әсері грам-оң штамммен салыстырғанда сәл әлсіздеу байқалды. Антибиотиктер қосылған кезде бұл гидрогель екі бактериялық штаммның да өсуін күрт тежеді. Алайда дәрілік заттарды ұзақ уақыт бойы ұстап тұру қабілеті аскорбин қышқылымен модификацияланған үлгімен салыстырғанда біршама төмен болды.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Зерттеу жұмысында құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз гидрогелдер ерітінділік полимерлеу әдісімен, заттық инициатордың қатысуымен синтезделіп алынды. Синтез мономерлердің әртүрлі арақатынасында синтезделді.

2. Синтезделіп алынған гидрогелдің құрамына күміс нанобөлшектері тотығу-тотықсыздану механизмдері арқылы диффузиялық әдіспен енгізілді: бір жағдайда AgNO_3 пен NaBH_4 реакциясы негізінде, ал екінші жағдайда тотықсыздандырғыш ретінде аскорбин қышқылы қолданылды.

3. Құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз гидрогелдердің құрылымы мен функционалдық топтары ИҚ спектроскопиясы әдісі арқылы зерттелді.

4. Құрамында күміс нанобөлшектері бар және күміссіз гидрогелдердің термиялық қасиеттері, беттік морфологиясы мен ісіну-жиырылу кинетикасы термогравиметриялық талдау (TGA), сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және гравиметриялық талдау әдістері арқылы зерттелді.

5. Гидрогелдердің антибактериялық қасиеті мен дәрілік заттарды тасымалдау қабілеті медико-биологиялық сынақтар арқылы зерттеліп, жан-жақты талдау жүргізілді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Nakan, U., Kydyrkhan, A., Zhursumbayeva, M., Yermaganbetov, M., Nursultanov, M., Kerimkulova, A. ҚҰРАМЫНДА КҮМІС НАНОБӨЛШЕГІ БАР N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИД НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРЛЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ СИПАТТАМАСЫ //Chemical Journal of Kazakhstan. – 2024. – №. 1. <https://www.chemjournal.kz/index.php/journal/article/view/767>
2. Агабеков, В. Е., Потапов, А. Л., Шахаб, С. Н., & Иванова, Н. А. (2015). Поляризаторы на основе поливинилового спирта и пленки с наночастицами серебра: получение и применение (обзор) //Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1. – №. 2. – С. 6-35.
3. Бектуров Е.А. и др. Полимеры в нанотехнологии/Е.А.Бектуров, С.Е. Кудайбергенов, Ж.Е. Ибраева, - Алматы: Типография «Центр оперативной полиграфии», 2019.- 388 с.
4. Крутяков, Ю.А. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю.А. Крутяков [и др.] // Успехи химии. – 2008. – Т. 77, № 3. – С. 242–269.
5. Уркимбаева П., Кабаева А., Табакаева И., Жетписбаев С., Конырбаева З. Радиационно-химический синтез взаимопроникающих сеток на основе дифильных сополимеров //Chemical Bulletin of Kazakh National University. – 2012. – Т. 65. – №. 1. – С. 437-441. <http://bulletin.chemistry.kz/index.php/kaznu/article/view/466>
6. Г.Ф. Прозорова, С.А. Коржова, И.В. Мазяр, Л.А. Беловежец, Н.П. Кузнецова, А.И. Емельянов, А.С. Поздняков. Синтез и свойства новых сополимер-Ag(0) нанокомпозитов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. №1 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-i-svoystva-novyh-sopolimer-ag-0-nanokompozitov>
7. Королев Д.В., Шумило М.В., Истомина М.С. и др. Синтез наночастиц коллоидного серебра и стабилизация их несколькими способами для использования в лекарственных формах наружного применения. Трансляционная медицина. 2020;7(2): 42–51. DOI: 10.18705/2311-4495-2020-7-2-42-51.<https://transmed.almazovcentre.ru/jour/article/download/524/375>
8. Wang X., Sun Y., Peng C., Luo H., Wang R., Zhang D. Transitional Suspensions Containing Thermosensitive Dispersant for Three-Dimensional Printing // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2015. – Т. 7, с. 26131–26136. – doi:10.1021/acsami.5b07913
9. Häring M., Schiller J., Mayr J., Grijalvo S., Eritja R., Díaz D.D. Magnetic Gel Composites for Hyperthermia Cancer Therapy // Gels. – 2015. – Т. 1, с. 135–161. – doi:10.3390/gels1020135.
10. Bakarich S.E., Gorkin R. III, Panhuis M., Spinks G.M. 4D Printing with Mechanically Robust, Thermally Actuating Hydrogels // Macromol. Rapid Commun. – 2015. – Т. 36, с. 1211–1217. – doi:10.1002/marc.201500079.
11. Kesti M., Müller M., Becher J., и др. A Versatile Bioink for Three-Dimensional

- Printing of Cellular Scaffolds Based on Thermally and Photo-triggered Tandem Gelation // *Acta Biomater.* – 2015. – Т. 11, с. 162–172. – doi:10.1016/j.actbio.2014.09.033.
12. Paydayesh A., Heleil L., Dadkhah A. Preparation and application of poly (hydroxyl ethyl methacrylate) nanocomposite hydrogels containing iron oxide nanoparticle as wound dressing // *Polym. Compos.* – 2022. – Т. 30. – С. 1–10. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/09673911211063106>
13. Memic A., Alhadrami H.A., Hussain M.A., Aldhahri M., Al Nowaiser F., Al-Hazmi F., Oklu R. Hydrogels 2.0: improved properties with nanomaterial composites for biomedical applications // *Biomed. Mater.* – 2015. – Т. 11, № 1. – Article 014104. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-6041/11/1/014104>
14. Balouch A., Ali U.A., Shah A.A., Oyama M. Efficient heterogeneous catalytic hydrogenation of acetone to isopropanol on semihollow and porous palladium nanocata.
15. Yin, Iris & Zhang, Jing & Zhao, Irene & Mei, May Lei & Li, Quanli & Chu, Chun-Hung. (2020). The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *International Journal of Nanomedicine*. 15. 2555-2562. 10.2147/IJN.S246764.
16. Psarra E., König U., Ueda Y., и др. Nanostructured Biointerfaces: Nanoarchitectonics of Thermoresponsive Polymer Brushes Impact Protein Adsorption and Cell Adhesion // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2015. – Т. 7, с. 12516–12529. – doi:10.1021/am508161q.
17. Lima L.H., Morales Y., Cabral T. Ocular Biocompatibility of Poly-N-Isopropylacrylamide (pNIPAM) // *J. Ophthalmol.* – 2016. – № 6. – doi:10.1155/2016/5356371.
18. Li Z., Yuan D., Jin G., Tan B.H., He C. Facile Layer-by-Layer Self-Assembly toward Enantiomeric Poly(lactide) Stereocomplex Coated Magnetite Nanocarrier for Highly Tunable Drug Deliveries // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2016. – Т. 8, с. 1842–1853. – doi:10.1021/acsami.5b09822.
19. Zhao C., Hou J., Chen R., Xin Z., Shi H., Wong S.C., Yin J., Shi Q. Cell-inspired Biointerfaces Constructed from Patterned Smart Hydrogels for Immunoassays in Whole Blood // *J. Mater. Chem. B.* – 2017. – Т. 5, с. 2315–2321. – doi:10.1039/C6TB03385G.
20. The Matyjaszewski Polymer Group. Synthesis of Well-Defined Macromolecules – Graft Copolymers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cmu.edu/maty/materials/Synthesis_of_well_defined_macromolecules/graft-copolymers.html#graft (обращение: 11.08.2017).
21. Zhan Y., Gonçalves M., Yi P., Capelo D., Zhang Y., Rodrigues J., Liu C., Tomás H., Li Y., He P. Thermo/Redox/pH-Triple Sensitive Poly(N-isopropylacrylamide-co-acrylic acid) Nanogels for Anticancer Drug Delivery // *J. Mater. Chem. B.* – 2015. – Т. 3, с. 4221–4230. – doi:10.1039/c5tb00468c.
22. Xin Y., Xiao H.J., Jing J., Ming Y.L., Jun L. Synthesis of triangular silver nanoprisms by stepwise reduction of sodium borohydride and trisodium citrate //

- J. Phys. Chem. C – 2010. – Т. 114, № 5. – С. 2070–2074. – DOI: <https://doi.org/10.1021/jp909964k>.
23. Bushra Y., Chinky G., Rashmi N., Saurabh K., Joy S., Monisha B., Radhey M.N. Gabapentin loaded silver nanoparticles (GBP@AgNPs) for its promising biomedical application as a nanodrug: Anticancer and Antimicrobial activities // Inorg. Chem. Commun. – 2023. – Т. 149. – Article 110380. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110380>.
24. Li Z., Fan Z., Xu Y., Lo W., Wang X., Niu H., Li X., Xie X., Khan M., Guan J. pH-Sensitive and Thermosensitive Hydrogels as Stem-Cell Carriers for Cardiac Therapy // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2016. – Т. 8, с. 10752–10760. – doi:10.1021/acsami.6b01374.
25. Li Z., Fan Z., Xu Y., Niu H., Xie X., Liu Z., Guan J. Thermosensitive and Highly Flexible Hydrogels Capable of Stimulating Cardiac Differentiation of Cardiosphere-Derived Cells under Static and Dynamic Mechanical Training Conditions // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2016. – Т. 8, с. 15948–15957. – doi:10.1021/acsami.6b04932.
26. Прозорова Г.Ф., Коржова С.А., Поздняков А.С., Емельянов А.И., Ермакова Т.Г., Дубровина В.И. Иммуномодулирующие свойства серебросодержащего нанокompозита на основе поливинилтриазола // Известия Академии наук. Серия химическая. 2015. N 6. С. 1437–1439.
27. Pérez-Madrigal M.M., del Valle L.J., Armelin E., Michaux C., Roussel G., Perpète E.A., Alemán C. Polypyrrole-Supported Membrane Proteins for Bio-Inspired Ion Channels // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2015. – Т. 7, с. 1632–1643. – doi:10.1021/am507142f.
28. Akiyama Y., Okano T. Temperature-responsive Polymers for Cell Culture and Tissue Engineering Applications // In: Switchable and Responsive Surfaces and Materials for Biomedical Applications / Z. Zhang, ред. – Oxford: Woodhead Publishing, 2015. – С. 203–233. – ISBN 9780857097170.
29. Smink A.M., de Haan B.J., Paredes-Juarez G.A., Wolters A.H., Kuipers J., Giepmans B.N., Schwab L., Engelse M.A., van Apeldoorn A.A., de Koning E. и др. Selection of Polymers for Application in Scaffolds Applicable for Human Pancreatic Islet Transplantation // Biomed. Mater. – 2016. – Т. 11, № 035006. – doi:10.1088/1748-6041/11/3/035006.
30. Sanz B., von Bilderling C., Tuninetti J.S., Pietrasanta L., Mijangos C., Longo G.S., Azzaroni O., Giussi J.M. Thermally-Induced Softening of PNIPAm-Based Nanopillar Arrays // Soft Matter. – 2017. – Т. 13, с. 2453–2464. – doi:10.1039/C7SM00206H.
31. Rahmetullayeva, R. & Nakan, U. & An, E. & Zharkimbaev, A. & Shajhutdinov, E.. (2012). Effect of silver nanoparticles to properties termochustvitelnye polymer hydrogels. Chemical Bulletin of Kazakh National University. 362. 10.15328/chemb_2012_1362-365.
32. Gao B., Yang Q., Zhao X., Jin G., Ma Y., Xu F. 4D Bioprinting for Biomedical Applications // Trends Biotechnol. – 2016. – Т. 34, с. 746–756. – doi:10.1016/j.tibtech.2016.03.004.

33. Wang S., Lee J.M., Yeong W.Y. Smart Hydro-Gels for 3D Bioprinting // Int. J. Bioprint. – 2015. – T. 1, c. 3–14. – doi:10.18063/IJB.2015.01.005.
34. Chua C.K., Yeong W.Y. Bioprinting: Principles and Applications. – Singapore: World Scientific Publishing Company Incorporated, 2015. – ISBN 978-9814612104.
35. Pozdnyakov, A. & Emel'yanov, Artem & Кузнецова, Надежда & Ermakova, Tamara & Korzhova, Svetlana & Khutsishvili, Spartak & Vakulskaya, Tamara & Prozorova, Galina. (2019). Synthesis and Characterization of Silver-Containing Nanocomposites Based on 1-Vinyl-1,2,4-triazole and Acrylonitrile Copolymer. Journal of Nanomaterials. 2019. 1-7. 10.1155/2019/4895192.

ҚОСЫМШАЛАР

Ғылыми публикация



ОРГАНИЗАТОРЫ

Научный совет по высокомолекулярным соединениям РАН
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ФГБУН «ФИЦ «Казанский Научный Центр Российской Академии Наук»
Академия наук Республики Татарстан
Фонд науки и технологий Республики Татарстан
Общероссийская Общественная Организация «Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева»

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Хохлов А.Р., академик-председатель
Андреева Т.И., профессор
Берлин А.А., академик
Вольфсон С.И., профессор
Галимов Э.Р., профессор
Гришин Д.Ф., чл.-корр. РАН
Калачев А.А., чл.-корр. РАН
Музафаров А.М., академик
Новиков И.А., академик
Озерин А.И., чл.-корр. РАН
Пономаренко С.А., чл.-корр. РАН
Синяшин О.Г., академик
Скирда В.Д., профессор
Стороженко П.А., академик
Чвалун С.Н., чл.-корр. РАН
Ярославов А.А., чл.-корр. РАН
Якиманский А.В., профессор

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:
Антипин И.С., член-корр. РАН (химическая секция)
Таюрский Д.А., профессор (физико-математическая секция)

Секретарь:

Балькаев Д.А., кандидат технических наук

Члены оргкомитета:

Амиров Р.Р., профессор
Амирова Л.М., профессор
Ахмадуллин Р.М., кандидат химических наук
Батулин Р.Г., кандидат физико-математических наук
Бурилов В.А., профессор
Гафиатуллин Б.Х., кандидат химических наук
Давлетбаева И.М., профессор
Иванова И.И.
Зиганшин М.А., чл.-корр. АН РТ
Зиганшина С.А., кандидат химических наук
Казимова М.А., доцент
Недопекин О.В., кандидат физико-математических наук
Соловьева С.Е., профессор
Халитов Т.Ч.
Шамсиева А.И.



ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ

Накан У.*, Жакснаева Д., Нурсултанов М.Е., Адиканова Д.Б.

*Кафедра химической и биохимической инженерии, Satbayev University, 050013,
Алматы, Казахстан
ulantaynakan@gmail.com*

Многие полимерные материалы находят особое применение благодаря своим уникальным свойствам. Среди них широко используются сополимеры, содержащие металлические наночастицы (Ag, Au, TiO₂ и др.), обладающие антибактериальными, магнитными, электропроводящими, фотокаталитическими и другими свойствами. Они востребованы, особенно в биотехнологии, медицине, электронике, сельском хозяйстве и других отраслях. Полимерные материалы, называемые «умными» или «стимул-чувствительными», содержащие металлические наночастицы, представляют особый интерес для исследователей благодаря своим уникальным свойствам. В связи с растущим спросом на эти полимеры исследования в данной области становятся все более актуальными. Поэтому глубокое изучение этих полимеров является требованием современности.

В данной научной работе сополимеры на основе N,N-Диметилацетамид (ДМА) и 2-Гидроксиэтилакрилат (ГЭА), содержащие серебряные наночастицы, были синтезированы методом радикальной полимеризации в водных растворах с использованием персульфата аммония в качестве инициатора и N,N-метилена-бис-акриламида в качестве сшивающего агента. Для улучшения свойств полимеров в гелевую матрицу были внедрены наночастицы серебра.

Процесс получения серебряных наночастиц происходит в результате окислительно-восстановительной реакции между нитратом серебра (AgNO₃) и аскорбиновой кислотой (C₆H₈O₆) во время синтеза гидрогеля. Кроме того, серебряные наночастицы также синтезировались на основе окислительно-восстановительного процесса между нитратом серебра (AgNO₃) и боргидридом натрия (NaBH₄) и внедрялись в гель методом диффузии.

Введение серебряных наночастиц в гель, а также морфология поверхности геля были изучены и проанализированы с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM). Свойства гидрогелей, содержащих серебряные наночастицы, и контрольных образцов без серебра были исследованы с применением различных современных методов. Состав гидрогеля был изучен методом Фурье-ИК-спектроскопии (FTIR), и было определено соединение, соответствующее этому гидрогелю. Тепловые свойства гидрогелей были исследованы методами термогравиметрического анализа (TGA) и дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC). Также была изучена кинетика набухания и сжатия гидрогелей ДМА-ГЭА.