

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

POLİMER MATRİSALARI ƏSASINDA METAL NANOKOMPOZİTLƏRİN ALINMASI VƏ TƏDQIQI

İxtisas: 2304.01 – “Makromolekullar kimyası”

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Səadət Faiq qızı Hübətova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı–2026

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
“Kimya İnstitutu” PHŞ-nin Nanostrukturlaşdırılmış metal-polimer
katalizatorları laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

kimya elmləri doktoru
Nizami Allahverdi oğlu Zeynalov

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın həqiqi üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Adil Abdulxalıq oğlu Qəribov

kimya elmləri doktoru, professor
Rasim Mirəli oğlu Alosmanov

kimya üzrə fəlsəfə doktoru
Rəsmiyyə Elbrus qızı Məmmədova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
“Kimya İnstitutu” PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.15
Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının

sədri

AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Məhəmməd Baba oğlu Babanlı

Dissertasiya şurasının

elmi katibi

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova

Elmi seminarın sədri:

kimya elmləri doktoru, dosent
Kazım Qafar oğlu Quliyev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Məlumdur ki, hazırda polimer matrisaların iştirakı ilə metal nanohissəciklərin sintezi, stabilləşdirilməsi və xassələrinin tədqiqi müasir kimya elmi ilə yanaşı tibb və fizika elmləri sahəsində də perspektivli istiqamətlərdən sayılır. Aydınır ki, metalın nanoölçülü halı qeyri-adi xassələrə malik olmaqla onun sənayenin müxtəlif sahələrində tətbiqinə yeni imkanlar yaradır.

İstər nanoölçülü metal, istərsə də nano metal oksidlərinin sintezindən sonra əsas problem onların ölçülərinin və üstün xassələrinin uzun müddət stabil qalmasıdır. Bu sahədəki tədqiqatlar göstərir ki, polimer makromolekulları bu tip nanodispers sistemləri stabilləşdirməklə yanaşı, həmin nanohissəciklərin formalaşmasını da təmin edə bilər¹.

Bundan başqa, alınan hissəciklərin forma və ölçülərinin tənzimlənməsində polimerlər əvəzsiz matrisalar sayılırlar. Bu polimerlər arasında polielektrolitlər, xüsusən də tərkibində -COOH, -NH₂, -OH və -CHO funksional qrupları saxlayan təbii və sintetik polimerlər xüsusi yer tutur. Belə ki, bu funksional qruplar metal nanohissəciklərini əhatə etməklə onların aqreqasiyasının qarşısını alır və onların ilkin nanoölçülərinin sabilliyini təmin edir. Eyni zamanda, farmakologiyada fizioloji aktiv preparatların effektiv müalicə təsirini artırmaq üçün təbii və sintetik polimer əsaslı gellər, onların metal nanohissəcikləri ilə kombinasiyası əsasında hazırlanan daşıyıcılar, örtüklər, ultranazik plyonkalar və s. gel əmələ gətirə bilən nanobiomateriallər də yaradılmağa başlanılmış və hazırda da aktual sahələrdəndir.

Belə ki, qeyd olunan metal nanohissəciklərdən Ag, Au, Fe₃O₄ tərkibli kompozitlər mükəmməl təsir effektlərinə malik antibakterial preparatların əsasını təşkil edirlər.

Həmçinin qeyd olunan funksionallığa malik təbii və sintetik polimerlər iştirakında alınmış Ag⁰ və Fe₃O₄ nanohissəcikli

¹ Aguilar, N.M. Polymers as versatile players in the stabilization, capping, and design of inorganic nanostructures / N.M. Aguilar, J.M. Perez-Aguilar, V.J. González-Coronel [et al.] // ACS Omega -2021, Vol. 6, Iss. 51, -p. 35196-35203.

materialların müəyyən fiziki xassələrinin, o cümlədən volt-ampere xassələrinin, müqavimətlərinin temperatur və gərginlikdən asılılığının öyrənilməsi də böyük maraq doğurur. Bundan savayı, tərkibində həmin Fe_3O_4 nanohissəciyi olan təbii polimerlər, eləcə də onların poli-N-vinilpirrolidon ilə calaq sopolimerlərinə model dərman maddəsi kimi tripsin və doksorubisin immobilizasiyasından sonra onlardan daşıyıcı matrisa kimi istifadə imkanları da aktual sahələrdəndir. Əlavə olaraq təbii polimerlər və onların poli-N-vinilpirrolidon ilə kompozitlərinin Ag^0 nanohissəcikləri ilə komplekslərinə antibakterial preparat levofloksasinin hopdurulması və həmin nanobiokompozitlərin antimikrob aktivliklərinin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* və *Pseudomonas aeruginosa* kimi bakteriyalar iştirakında test edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Digər tərəfdən müasir neft-qaz sənayesinin ciddi problemlərindən biri istismar müddəti artdıqca sulaşmanın müşahidə olunmasıdır. Hansı ki, bu əlavə iqtisadi və texniki problemlər yaratmaqla məhsulun maya dəyərinin artmasına gətirib çıxarır. Quyudibi mühitin və boruvarxası fəzanın effektiv izolyasiyasını təmin etmək məqsədilə tətbiq olunan texnologiyalar arasında sement əsaslı və gel əmələ gətirən kompozisiyalar funksional üstünlükləri ilə fərqlənir və geniş istifadə olunur. Uzun illərdir sement əsaslı bərkidici sistemlərin tətbiqi zamanı süxur təbəqələrinin hərəkəti ilə sınıması, asanlıqla dağılması və perforasiya zamanı degradasiyası ilə müşahidə olunur.² Bu nöqtəyi nəzərdən sement materialının elastiklik xassəsini artırmaqla asan perforasiya oluna bilən, termiki təsirlərə davamlı və süxur səthlərinə adgeziyalı sement-polimer kompozisiya tərkiblərinin hazırlanması aktual sahələrdəndir. Bundan başqa, sementin tərkibində maqnetit nanohissəcikləri olan polimer/nano Fe_3O_4 dispers məhlulları ilə hazırlanması onun termiki davamlılığını artırmaqla istifadə müddətini artırmış olur.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq, dissertasiya işi poli-N-vinilpirrolidon (PVPr), polietilenqlikol (PEQ), poliakrilamid (PAA), eləcə də təbii polisaxaridlər olan xitozan (XZ), qummiarabik (QA),

² Cheng, X. Effect of Hole on Oil Well Cement and Failure Mechanism: Application for Oil and Gas Wells / X. Cheng, C. Cao, L. Wu, W. Song // ACS Omega -2022, Vol. 7, Iss. 7, 5972-5981.

arabinoqalaktan (AQ) iştirakında Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikləri olan kolloid sistemləri əsasında yaradılan yeni növ tibbi və sement materialların tədqiqi baxımından aktualdır.

İş AMEA akad. M.F.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun (İndiki ARETN “Kimya İnstitutu” PHŞ) elmi-tədqiqat iş planı (Dövlət qeydiyyatı № **0115Az2096**) üzrə yerinə yetirilmişdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. - Sintetik və təbii polimerlər mühitində əlavə reduksiyaedicilərdən istifadə etməklə, eləcə də polimer maddələrinin özlərini reduksiyaedici kimi sistemə daxil etməklə mühitin pH-na həssas gümüş və maqnetit nanohissəcikli “ağıllı” materialların sintezi və həmin nanokompozitlərdən daşıyıcı kimi istifadə imkanlarının mümkünlüyü, onların bioloji və elektrik keçiricilik xassələrinin müəyyən edilməsi tədqiqatın əsas məqsədidir. Həmçinin sement qarışığının sərtləşdikdən sonra elastikliyi, adgeziyası və istiliyin bərabər paylanmasını təmin etmək üçün maqnetit nanohissəcikli polimer əlavə edilmiş tərkiblərin hazırlanması və tədqiqi də araşdırmanın vacib istiqamətlərindən biridir.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün aşağıda göstərilən məsələlərin həll edilməsi nəzərdə tutulmuşdur:

- ✓ PVPr, PEQ, XZ, AQ və QA-dan həm stabilləşdirici, həm də xüsusi şəraitdə müxtəlif reduksiyaedicilərdən istifadə etməklə Ag^0 nanohissəciklərinin sintezi və quruluş tədqiqatlarının aparılması;
- ✓ PVPr, PEQ, QA və XZ, mühitində Fe_3O_4 nanohissəciklərinin sintezi və alınan gel-nanohissəcik komplekslərinin strukturunun spektroskopik üsullarla identifikasiya olunması;
- ✓ sintez edilmiş təbii və sintetik əsaslı maqnetit Fe_3O_4 nanohissəcikli gel komplekslərin şismə xassələrinin tədqiqi, onlara model preparat kimi tripsin və doksorubisin immobilizə olunması ilə bioloji aktiv birləşmələrin daşıyıcılıq xassələrinin öyrənilməsi;
- ✓ təbii və sintetik polimerlər iştirakında alınan maqnetit Fe_3O_4 və Ag^0 nanohissəcikli kompozitlərin volt-ampere, müqavimətlərinin gərginlik və temperaturdan asılılıq

- xassələrinin tədqiqi;
- ✓ tərkibində gümüş nanohissəcikləri olan təbii polimerlər və onların PVPr ilə komplekslərinin levofloksasin ilə homogen qarışıqlarının xüsusi torlar üzərində bəzi mikrob mühitlərində antibakteriallıqlarının öyrənilməsi;
 - ✓ Sementin 3 tip su ilə (I-adi su, II-su+PAA, III-maqnetit xassəli Fe_3O_4 nanohissəciyi stabilləşdirilmiş PAA-li maye) qarışdırılmasından bərkidici tərkiblərin hazırlanması və nümunələrin sərtləşmə müddəti, sıxlığı, sıxılmaya davamlılığı və s. fiziki-kimyəvi parametrlərinin müəyyən edilməsi;
 - ✓ Müxtəlif qatılıqlı PAA-nano Fe_3O_4 qarışımı əsasında hazırlanan sement daşının keçiriciliyinin, yayılma diametrinin, bərkimə müddətinin temperatur asılılıqlarının tədqiq edilməsi.

Tədqiqat metodları. Elmi-tədqiqat işində ilkin və sintez olunmuş məhsulların identifikasiyası və xarakteristikalarının təyini zamanı müasir fiziki-kimyəvi analiz metodlarından (UB, İQ-Furye, XRD, TQA, EIS və s.) istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işinin tədqiqindən alınan əsas nəticələr, onların mövcud nəzəriyyələr və bu vaxta qədər yerinə yetirilmiş tədqiqatlarla müqayisəsi nəticəsində müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar aşağıdakılardır:

- PVPr və PEQ mühitində Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəciklərinin sintezi və fiziki tədqiqat üsulları ilə xarakterizə olunması;
- XZ, QA və AQ mühitində stabilləşdirilən Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəciklərinin sintez olunması, davamlılığı, struktur analizləri və tədqiqi;
- qeyd olunan polimer kompozitlər əsasında Ag^0 , Fe_3O_4 nanohissəcikləri saxlayan biokomplekslərin tripsin ilə qarşılıqlı kimyəvi təsirinin xarakteri;
- sintez edilmiş Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikli gel materialların bioloji fəallıqlarının, antibakteriallıqları və levofloksasin hopdurulmuş cərrahi torların xüsusi mikrob mühitlərində lizis zonalarının tədqiqi;
- sintez edilmiş Ag^0 nanohissəcikli təbii və sintetik polimer nanokompozitlərin volt-ampere və müqavimətləri kimi fiziki xassələrinin müxtəlif parametr funksiyalarının araşdırılması;

- PVPr, PAA, həmçinin onların maqnetit nanohissəcikli komplekslərindən istifadə etməklə hazırlanmış sement daşı nümunələrinin əsas fiziki-mexaniki xassələrinin, eləcə də quruluşlarının spektroskopik tədqiqi.

Tədqiqatın əsas elmi yeniliyi.

- PVPr, PEQ, XZ eləcə də QA və AQ əsasında “ağıllı” hidrogellər sintez edilmiş və onlardan stabilləşdirici və reduksiyaedici kimi istifadə etməklə Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikli kompozitlər əldə edilmiş və müxtəlif fiziki göstəriciləri araşdırılmışdır.
- Həmçinin alınmış metal nanohissəcikli biokomplekslərə tripsin və doksorubisinin immobilizə olunması ilə onların daşıyıcılıq imkanları tədqiq edilmişdir.
- Qarın boşluğunun yırtıqları zamanı istifadə edilən tibbi torlara əlavə antibakterial xassə vermək üçün səthlərinə yüngül qızdırılma üsulu ilə nano Ag^0 gel-levofloksasin məhlulu hopdurulmuş və *in vitro* biotestlərdən keçirilmişdir.
- Bundan savayı neft sənayesində lay sularının təcridi üçün quyudibi zonada effektiv tamponlayıcı kimi süxur səthinə effektiv adgeziyalı PAA, PVPr, PAA/ Fe_3O_4 və PVPr- Fe_3O_4 tərkibli sement məhlulları hazırlanmış, polimer və nanohissəcik fazalarının sement tərkibində fiksasiyası realizə olunmuşdur.
- Hazırlanmış sement məhlulundan nəinki neft-qaz sənayesində quyudibi zonanların uzunmüddətli və effektiv bərkidilməsi üçün, eləcə də tikinti sahəsində də istifadəsini mümkün edir. Belə ki, elastiki xassələrə malik bərkidilmiş sement mexaniki zərbələr və seysmik aktivliyə davamlı olmaqla yanaşı, tərkibindəki maqnetit nanohissəcikləri hesabına metal avadanlıqlarla yüksək dərəcədə bağlanmaq xassəsi yarada bildiyi müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. PVPr, PEQ, XZ, QA, AQ əsaslı “ağıllı” polimer matrisalar mühitində Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikli gel kompleksləri sintez edilmiş və pH-in müəyyən qiymətlərində daşıyıcılıq xassəsi, eləcə də antibakterial aktivlik göstərə bilən immobilizasiya üsulu işlənib hazırlanmışdır. Geldən mühitin qıcıqlandırıcılarının təsirindən uzun müddət nəzarətli ayrılmanı təmin edən, əsas matrisa və metal nanohissəcikləri hesabına

əlavə bioloji keyfiyyətlərə malik belə nanokompozitlər tibbdə dərman preparatlarının daşınması üçün effektiv matrisa kimi istifadə edilə bilər. Həmçinin təbii və sintetik polimer əsaslı materialların Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikləri ilə alınmış kompleksləri orqanizmdə həmin mikroelementlərin çatışmazlığı kimi problemləri həll etməklə yanaşı, müxtəlif mühitlərdə antibiotik və bəzi fermentlərin ünvanlı çatdırılmasında da daşıyıcı kimi əhəmiyyətli dirlər.

Bundan əlavə tərkibində Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikləri olan polimer kompozitlərin volt-ampere və xüsusi müqavimət kimi fiziki parametrləri imkan verir ki, həmin materiallardan elektronikada xüsusi keçiriciliyə malik naqillərin və optiki cihaz komponentlərinin hazırlanmasında baza materialı kimi istifadə oluna bilər.

Eləcə də, PAA və PVPr mühitində nano Fe_3O_4 dispers hissəcikləri saxlayan kolloid məhlul əldə edilə bilər ki, həmin məhlulda maqnetit nanohissəciklərinin ölçülərinin 40-100 nm intervalında dəyişməsi və onların 80-140 °C də termiki davamlı olması ilə xarakterizə olunur. Həmin polimer-nano Fe_3O_4 məhlulu ilə sementin qarışdırılmasından hazırlanan kütlənin elastikliyinə, sıxılmaya və dağılmağa qarşı davamlılığının artması müşahidə olunmuşdur. Tərkibdə metal oksidi nanohissəciklərinin mövcudluğu isə ona termiki davamlılıq verməklə istifadə müddətini artır. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, tədqiqatın gələcək istiqamətini genişləndirmək və daha elastiki və sıxılmaya davamlı sement daşı hazırlamaq mümkündür. Bu polimerin orta molekul kütləsini, tərkibdə nanohissəciklərin ölçüsünü və miqdarını tənzimləməklə, yaxud biopolimerlərdən, hər hansı sənaye istehsalının yan məhsullarından istifadə etməklə mümkündür.

Dissertasiya işinin elmi nəticələrinə və çap olunduğu dövrü nəşrlərdəki istinadlarına əsasən, tədqiqatı genişləndirmək və əldə olunmuş yeni Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikli kompozit matrisalarının digər fizioloji fəal maddələrin daşınmasında istifadə edilməsi mümkündür. Həmçinin əsas matrisa olan təbii və sintetik polimerləri digər toksiki olmayan kiçik molekul maddələr və metal nanohissəciklərlə kombinə etməklə yeni daşıyıcıların, o cümlədən elektrik xassələri idarə oluna bilən materialların yaradılmasının əsasını qoymaq və tədqiqatı digər istiqamətlərə də genişləndirmək

mümkündür.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı respublika və beynəlxalq elmi konfranslarda məruzə edilmişdir: «Всероссийская конференция с международным участием молодых учёных по химии тезисы докладов, Менделеев-2014, (Санкт-Петербург 2014), XXVI Международная Чугаевская конференция по координационной химии (Казан, 2014). Тезисы Докладов Кластер Конференции по Органической Химии «Оргхим-2016», (Санкт-Петербург, 2016). IV International Scientific Conference of Young Researchers dedicated to the 93rd Anniversary of the National leader of Azerbaijan H. Aliyev, (Baku 2016). Ankara International Congress on Scientific Research-IX, (Ankara, 2023). International Biotechnology & Nanotechnology Congress, (Ardahan 2024). Tokyo 8th International Innovative Studies & Contemporary Scientific Research Congress, (Tokyo 2024). XXVII Всероссийская Конференция Молодых Учёных-Химиков (С Международным Участием), (Нижний Новгород, 2024). “Makromolekullu Birləşmələr Texnologiyasının Müasir Problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfransı, (Bakı 2024). International Ceramics and Composite Materials Symposium, (Isparta 2024).

Dissertasiya işinin mövzusu və praktiki əhəmiyyəti haqqında nəticələr Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası akad. M.Nağıyev ad. Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun keçirdiyi “M.Nağıyev adına Mükafata” layiq görülmüşdür (2016).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi (ARETN) “Kimya İnstitutu” PHŞ-nin Nanostrukturlaşdırılmış metal-polimer katalizatorları laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir. Bundan başqa nümunələrin antibakterial xassələri, quruluş spektroskopiya analizləri və volt-ampere kimi müəyyən fiziki parametrləri Azərbaycan Tibb Universiteti, AR ETN Fizika İnstitutu PHŞ və Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunda (Rusiya, Dubna) yoxlanılmışdır.

Dissertasiya işinə aid dərc olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işinin məzmununa aid materiallar 21 elmi əsərdə dərc edilmişdir. Onlardan 11-i məruzələrin tezisləri, 10-u isə xarici və

respublika miqyaslı elmi jurnallarda nəşr edilmiş elmi məqalələrdir.

Dissertasiya işinin həcmi və quruluşu. Dissertasiya işi girişdən (19426 simvol), 4 fəsildən (Fəsil I - 47786 simvol, Fəsil II - 31031 simvol, Fəsil III - 81661 simvol, Fəsil IV- 43796 simvol) ümumi nəticə (3262 simvol) və sınaq testlərinin aktları olan əlavələrdən təşkil olunmuşdur. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 226962 simvoldan və 176 kompyüter səhifəsindən ibarətdir. İşdə 75 şəkil, 9 cədvəl və 181 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı vardır.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılmış, məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiə olunan əsas məsələlər göstərilmişdir.

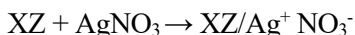
Birinci fəsildə təbii və sintetik əsaslı, xüsusilə də PVPr, PEQ və polisaxaridlər - XZ, QA, AQ əsasında tərkibində metal nanohissəcikləri olan kompozitlərin sintezi, eləcə də metal nanohissəcikli gellərlə birlikdə dərman daşınmasında rolu, bu gel və metal-gel nümunələrə bioloji aktiv birləşmələrin immobilizə olunmasının tədqiqinə, elektronika və optoelektronikada istifadəsinə dair son 10-15 ilin ədəbiyyat məlumatlarının təhlili, sistemləşdirilməsi və müqayisəli analizi verilmişdir.

İkinci fəsil aparılmış təcrübələrin metodikasına həsr olunmuşdur. Bura tədqiqatların yerinə yetirilmə üsulları, başlanğıc maddələr, onların hazırlanması və alınmış məhsulların fiziki-kimyəvi, bioloji xassələrinin təyini və fiziki-kimyəvi analiz üsullarının tətbiq olunması ilə fiziki parametrlərinin öyrənilməsi kimi eksperimentlərin yerinə yetirilmə metodları daxildir. Həmçinin, Ag^0 nanohissəcikləri hopdurulmuş polimer-levofloksasin nanobiokompozitlərinin lizis zonalarının təyini və polimer-sement -maqnetit nanohissəcikli sement nümunələrinin hazırlanma üsulları da bu fəsildə verilmişdir.

Üçüncü fəsil təbii və sintetik polimerlər əsaslı Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikli kompozitlərin sintezi, quruluşlarının fiziki tədqiqat üsulları ilə təsdiqi və onlara seçilmiş dərman maddələrinin immobilizə olunması və daşınmasının tədqiqindən əldə olunan nəticələrin müzakirələrindən ibarətdir. Bu fəsildə sintez edilmiş yeni tip gel

nümunələrinin, Ag^0 nanohissəcikləri ilə gelkomplekslərinin levofloksasin ilə kombinasiyalarının antibakteriallıqlarının öyrənilməsi, model preparat kimi tripsin və doksorubisindən istifadə etməklə ferment və antibiotiklərin daşınması üçün effektiv matrisa kimi istifadə olunmalarının mümkünlüyü ətraflı izah olunmuşdur. Bundan əlavə tərkibində Ag^0 nanohissəcikləri olan kompozitlərin bəzi fiziki xassələri öyrənilmiş, polimer və nanohissəciyin təbiətindən asılı olaraq volt-ampere xarakteristikaları və elektrik müqavimətinin gərginlik və temperaturdan asılılıqlarının araşdırmalarından əldə olunan nəticələr yer almışdır.

XZ-nın biouyğunluğu, biodeqradasiya oluna bilməsi, qeyri-toksikliyi, bioaktivliyi və multifunksionallığı ondan uzun illər təbii biopolimer kationit kimi istifadəsini əsaslandırmışdır. Ag^+ ionları paylanmış XZ məhlulunda metal ionları $-\text{NH}_2$ və $-\text{OH}$ qrupları ətrafında koordinasiya edərək zəif qarşılıqlı təsir qüvvələri hesabına psevdokomplekslər əmələ gətirirlər³.



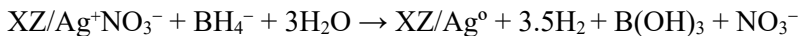
Tədqiqatlarımız zamanı reduksiyaedici kimi NaBH_4 -in əlavə edilməsi ilə adi şəraitdə gümüş ionlarının reduksiyası baş verir və bu proses müəyyən müddət davam edir. Reduksiya prosesi məhlulun rənginin tədricən dəyişilməsi ilə baş verir ki, bunu aşağıdakı şəkildən aydın görmək olar.



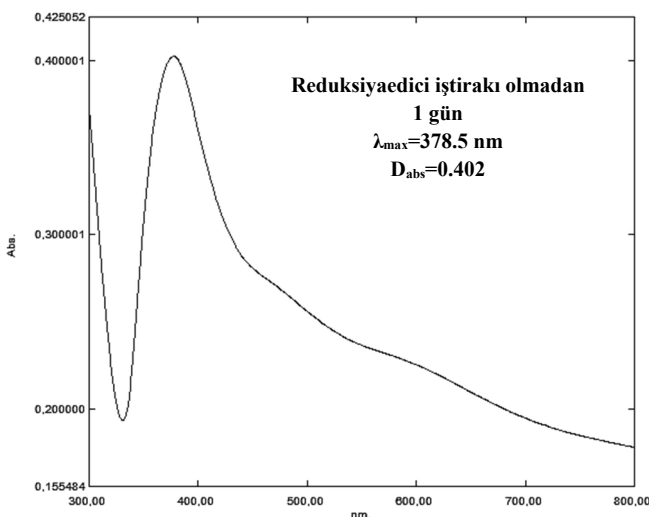
Şəkil 1. Reaksiya müddətindən asılı olaraq XZ- Ag^0 suspenziyasının rəngi

³ El-Araby, A. Chitosan, chitosan derivatives, and chitosan-based nanocomposites: eco-friendly materials for advanced applications (a review) / A. El-Araby, W. Janati, R. Ullah [et al.] // Frontiers in Chemistry -2024, Vol.11, 1327426.

Şəkil 1-dən göründüyü kimi reduksiya prosesi zamanı sistemin rəngi sarıdan tünd qəhvəyi rəngə qədər dəyişir. Bu Ag^0 nanohissəcikləri formalaşan kolloid məhlulun əmələ gəlməsini göstərir. Ag^+ ionlarının reduksiya tənliyinin aşağıdakı kimi göstərmək olar:



Nanohissəciklərin varlığını fiziki tədqiqat üsulları ilə təsdiqləyən metodlardan biri UB spektroskopiyadır hansı ki, hər bir metal nanohissəcikli kolloid məhlul üçün müəyyən dalğa uzunluğunda xarakterik intensiv udulma piki əmələ gətirir (Şəkil 2).

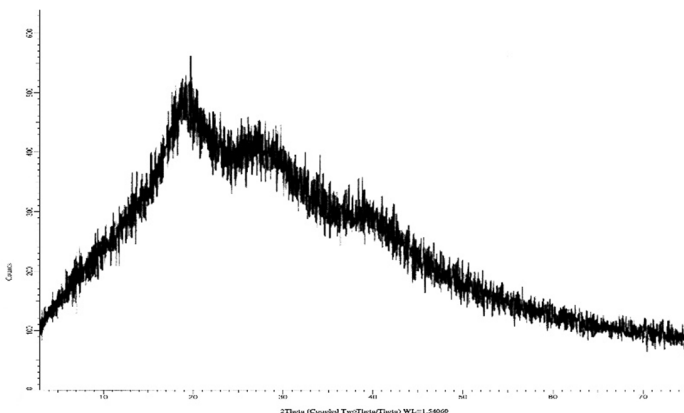


Şəkil 2. XZ mühitində reduksiyaedici agent istifadə etmədən formalaşan Ag^0 nanohissəciklərinin UV-Vis molekulyar elektron spektri

Göründüyü kimi XZ/Ag^0 kolloidinin reduksiyaedici reagentin iştirakı olmadan 1 gündən sonra alınan UB-görünən spektrində 378.5 nm dalğa uzunluğunda səthə mərkəzləşmiş kubik kristal qəfəsə malik gümüş atomları üçün xarakterik tək pik qeydə alınmışdır. Bu nəticə göstərir ki, kolloid sistemində formalaşan Ag^0 nanohissəcikləri çox kiçik ölçülü və yaxşı monodispers paylanmaya malikdirlər. Bu tip piklər, əsasən sferik formalı və az aqreqasiya olunmuş nanohissəciklər üçün xarakterikdir və bu da XZ-nin həm reduksiyaedici funksiya

daşdığı, həm də effektiv stabilizator funksiyasını təsdiq edir. Nəzərə alsaq ki, təxminən 350–450 nm intervalında Ag^0 nanohissəciklərinə aid olan səth plazma rezonansı onların suspenziyada dar fraksiyada paylandığını göstərir, alınmış nəticə bu nəzəriyyəni dəstəkləyir ⁴. XZ-in multifunksional təbiəti reduksiyaedici reagentin iştirakı olmadan belə müəyyən miqdarda Ag^+ ionlarının reduksiyasına imkan verir. Bu proses, XZ-in həm stabilizatoru, həm də zəif reduksiyaedici xüsusiyyətləri ilə əlaqələndirilə bilər.

Məlumdur ki, rentgen analizi kristal fazanın müəyyən edilməsinin başlıca metodlarından biridir. XZ polimeri mühitində stabilizə edilən Ag^0 nanohissəcikləri saxlayan kompozitin rentgen-faza tədqiqi aparılmışdır. Müqayisəli təhlillər üçün ilkin olaraq XZ-nin rentgen-faza spektri analiz olunmuş (Şəkil 3) və əsas matrisanın amorf struktura malik olduğu müəyyən edilmişdir.

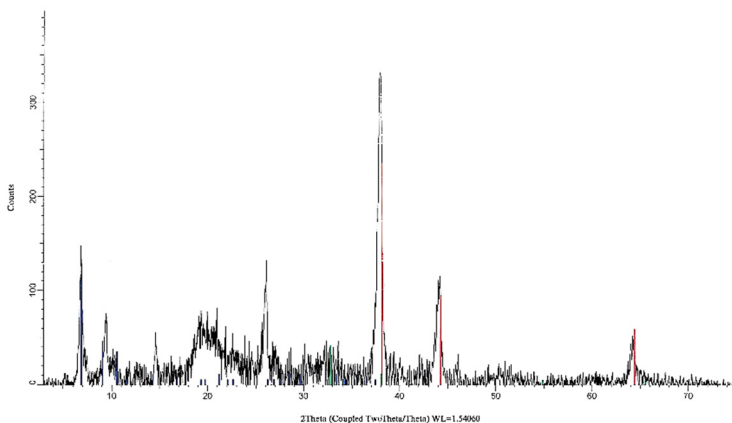


Şəkil 3. Təmiz XZ-nin RFA spektri

Göründüyü kimi təmiz XZ-nin rentgen spektrində kristal fazaya aid xarakterik pik müşahidə olunmur. Difraktoqramda $2\theta \approx 19,8^\circ$ ətrafında müşahidə olunan geniş və zəif intensivlikli pik XZ-in amorf təbiətə malik olduğunu göstərir. Bu amorf luq XZ-in qeyri-bərk kristal

⁴ Kulikouskaya, V. Chitosan-capped silver nanoparticles: A comprehensive study of polymer molecular weight effect on the reaction kinetic, physicochemical properties, and synergetic antibacterial potential / V. Kulikouskaya, K. Hileuskaya, A. Kraskouski [et al.] // SPE Polymers -2022, Vol. 3, Iss. 2, 77-80.

quruluşu və hidrofob-hidrofilik bölgələrin nizamsız paylanması ilə əlaqələndirilir. Gözlənilən kristallıq səviyyəsinin aşağı olması XZ-ın yüksək dərəcədə funksionallığını və nanokompozit sintezi üçün əlverişli matris olduğunu təsdiqləyir. Ancaq gümüş nanohissəcikləri saxlayan kompozitin spektrində (Şəkil 4) Ag^0 atomları üçün səciyyəvi olan 2θ -da üç güclü intensivlik əmələ gəlir.



Şəkil 4. XZ/ Ag^0 kompozitin RFA spektri

Bunlar (111), (200) və (220) sahələri ilə 2θ -da Ag^0 atomlarına xarakterik ≈ 38 , 44 və 64 qiymətlərinə malik Bragg refleksiyaının göstəriciləridir⁵. Rentgen-faza analizlərinin nəticələrinə əsasən Ag^0 nanohissəcikləri XZ strukturunda səthə mərkəzləşmiş kub formasında kristal quruluş formalaşdırır. Polisaxarid həcmində əmələ gələn Ag^0 nanohissəciklərinin ölçüsü Debye-Scherrer tənliyi ilə müəyyən edilmişdir:

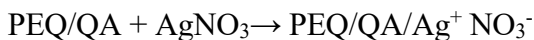
$$D = K\lambda/\beta\cos\theta$$

Burada D-kristallitin (nanohissəciyin) orta ölçüsü, K-Scherrer sabiti (0,9÷1), λ -dalğa uzunluğu (1,5418 Å), β -pikin eninin 1/2-i və θ Bragg

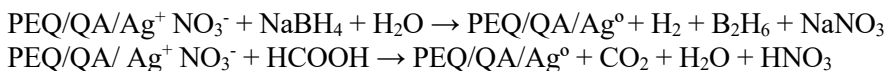
⁵ Ali, M.H. Analysis of crystallographic structures and properties of silver nanoparticles synthesized using PKL extract and nanoscale characterization techniques / M.H. Ali, M.A.K. Azad, K.A. Khan [et al.] // ACS Omega -2023, Vol. 8, Iss. 31, 28133-28142.

bucağı. Müəyyən olunmuşdur ki, nanohissəciklərin orta ölçüsü 14÷25 nm təşkil edir ki, bu da reduksiya müddəti və temperaturdan asılıdır.

Tədqiqatlar zamanı stabilləşdirici matrisanı sintetik polimerlə əvəz etməklə reduksiya olunmuş gümüş nanohissəciklərin ölçüsünün hansı həddə olduğu da müəyyən edilmişdir. Bu məqsədlə suda həll ola bilən PEQ və QA kompleks olaraq istifadə edilmişdir. PEQ və QA makromolekulları su mühitində həll olduqda homogen sistem əmələ gətirməklə funksional qruplar bir-biri ilə konformasion yaxınlaşmaya məruz qalırlar. Ag^+ ionları -OH və -COOH qrupları ilə əhatə olunaraq koordinasiya yaradırlar:



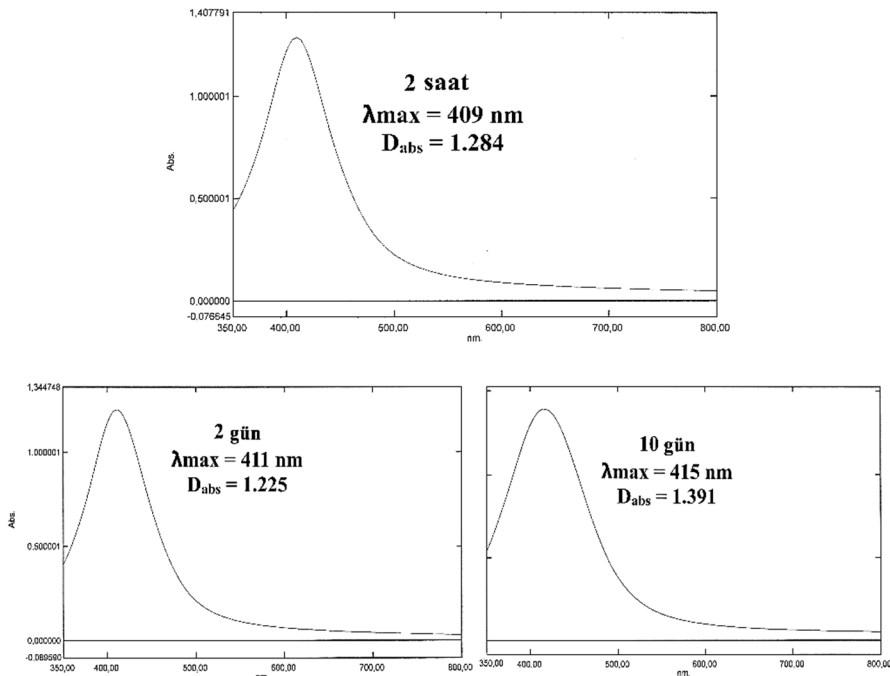
Sistemə reduksiyaedici reagentin əlavə edilməsi ilə gümüş ionları aşağıdakı reaksiya tənliyi ilə xarakterizə olunan kimyəvi çevrilməyə məruz qalırlar:



Məlumdur ki, molekulyar elektron spektroskopiya məhlulda metal nanohissəciklərinin mövcudluğunu təsdiq edən metodlardan biri olub, nanohissəciklərin əmələ gəlməsini təsdiq etməyə imkan verir. Səthi plazma rezonansı metal atomları üçün spesifikdir, belə ki, spektrdə intensiv pik ilə xarakterizə olunur. Əldə olunmuş nanokompozit dietil efiri, yaxud etil spirtində işlənildikdən sonra deionlaşmış suda məhlulunun müxtəlif temperaturalarda UV-Vis spektrləri qeydə alınmışdır (Şəkil 5). Sintez edilmiş Ag nanohissəciklərinin kolloid məhlullarının UV-Vis spektrlərində 409-415 nm diapazonunda müşahidə olunan xarakterik səth plazmon rezonansı zolağının 2 saat-10 gün sonra əhəmiyyətli dəyişiklik göstərməməsi nanohissəciklərin yüksək kolloid stabilliyini təsdiq edir. Bu nəticə PEQ və QA-nın Ag nanohissəciklərinin stabilizasiyasında effektiv qoruyucu mühit kimi çıxış etdiyini göstərir.

Məlumdur ki, nanohissəciklərin plazma rezonansı xüsusiyyətləri onların ölçüsü, forması, dispersliyi və ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirindən

asılı olaraq dəyişir. Bu dəyişikliklərin müşahidəsi üçün ən geniş istifadə olunan üsullardan biri UV-Vis spektroskopiyasıdır. Bu metod vasitəsilə metal nanohissəciklərin kolloid mühitdəki optik sabitliyini və zamanla baş verən dəyişiklikləri izləmək mümkündür⁶.



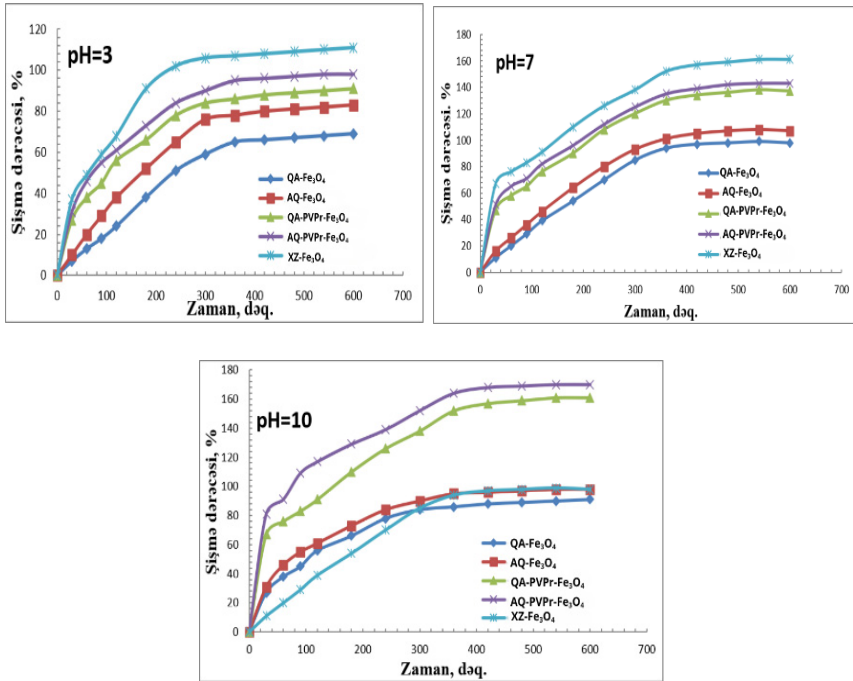
Şəkil 5. PEQ-QA-Ag⁺ kolloid sistemin absorpsiyasının reduksiya müddətindən asılılığının UV-Vis molekulyar elektron spektrləri

Aparılmış UV-Vis spektroskopik analizlər nanohissəciklərin optik xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi və kolloid sistemin zamanla davranışının izlənməsi baxımından bir sıra əhəmiyyətli nəticələr ortaya qoymuşdur. Tədqiq edilən PEQ-QA-Ag⁺ kompozit sistemi bu baxımdan həm sintez prosesinin effektivliyini, həm də materialın ilkin sabitliyini nümayiş etdirmişdir. Zamanla dalğa uzunluğu və absorpsiya

⁶ Arif, M. UV-Vis spectroscopy in the characterization and applications of smart microgels and metal nanoparticle-decorated smart microgels: a critical review / M. Arif, H. Raza, T. Akhter // RSC Advances -2024, Vol. 14, 38120-38134.

dəyərlərində müşahidə olunan dəyişikliklər kolloid mühitdə sabitliyin, aqreqasiya prosesinin və hissəcik dispersliyinin dinamik təhlilinə imkan yaratmışdır. Bu isə sistemin ümumi davranışının qiymətləndirilməsinə və sabitlik pozuntularının erkən mərhələdə müəyyənəndirilməsinə imkan yaradır.

Növbəti tədqiqatlarda gel nümunələrində strukturlaşan Fe_3O_4 nanohissəciklərin ölçüləri və həmin gel sistemlərin müxtəlif mühitlərdə şişmə dərəcələri, immobilizə olunan tripsin və doksorubisinin miqdarı, immobilizə dərəcəsi və digər parametrlər öyrənilmişdir. Gel nümunələrində immobilizə olunan tripsin və doksorubisinin ayrılması prosesini nəzərə alaraq ilkin olaraq sintez olunmuş maqnetit-gel sistemlərinin mühitin turşuluğunun müxtəlif qiymətlərində şişmə proseslərinin zamandan asılılığı tədqiq olunmuş və nəticələr aşağıdakı şəkillərdə göstərilmişdir.



Şəkil 6. Müxtəlif pH-larda nano Fe_3O_4 -hidrogel kompozitinin şişmə prosesinin zamandan asılılığı

Göründüyü kimi, nano Fe_3O_4 -hidrogel nümunələrinin pH-a həssaslığı mövcuddur və bu, əsas matrisanın tərkibindəki funksional qrupların təbiətindən asılı olaraq fərqli formada özünü göstərir. Müəyyən olunmuşdur ki, bütün gellərdə ilkin 60 dəqiqə ərzində şişmə kəskin sıçrayışla artır, növbəti zaman müddətlərində isə bu artım tədricən və kiçik qiymətlə baş verərək şişmə tarazlığına nail olunur.

XZ əsaslı matrisada nanogel kompozitinin şişmə dərəcəsi $\text{pH}=7$ -də bütün digər nümunələr və mühitlər arasında ən yüksək qiymətə çatır, $\text{pH}=10$ -da isə əksinə ən aşağı səviyyəyə enir. Bu, $\text{pH}=10$ -da XZ zəncirinin yığılıb-kollaps olması, habelə struktura calaq olunan PVPr makromolekullarının bu mühidə əsasi xassəli funksional qruplarının polyarlaşa bilməməsi hesabına mühidəki ionları dəf etməsi ilə əlaqədardır. $\text{pH}=3$ -də isə $-\text{NH}_2$ qruplarının protonlaşması nəticəsində şişmə dərəcəsi öz $\text{pH}=7$ qiymətindən aşağı olsa da, digər nümunələrlə müqayisədə hələ də nisbətən yüksək qalır.

Sadə QA və AQ nümunələrində şişmə dərəcəsi $\text{pH}=7$ və $\text{pH}=10$ mühitlərində bir-birinə yaxın qalır, yəni qələvi mühidə kəskin fərqli artım müşahidə olunmur. Bunun əvəzinə, PVPr ilə calaqlanmış törəmələrdə (QA-PVPr, AQ-PVPr) şişmə dərəcəsi məhz $\text{pH}=10$ -da maksimuma çatır - bu, onların tərkibindəki $-\text{COOH}$ qruplarının qələvi mühidə ionlaşaraq zəncirlər arasında elektrostatik itələnməyə və şəbəkənin genişlənməsinə səbəb olması ilə izah edilə bilər. $\text{pH}=3$ -də bütün QA/AQ əsaslı nümunələr (sadə və PVPr-li) ən aşağı şişmə dərəcələrini göstərir.

Nəticələr göstərir ki, XZ əsaslı matrisalı maqnetit nanogeldən bioloji fəallıq göstərən dərman maddələrinin $\text{pH}=7$ -də daşınmasında, PVPr ilə calaqlanmış QA/AQ əsaslı Fe_3O_4 nanogel kompozitlərindən isə bioloji aktivlik göstərən preparatların $\text{pH}=10$ -a yaxın (zəif qələvi) mühidə daşınmasında istifadə oluna bilər.

Tədqiqatların növbəti mərhələsi kimi sintez edilmiş maqnetit Fe_3O_4 nanohissəcikli gel matrisalara model dərman kimi doksorubisindən istifadə etməklə antibiotikin yüklənməsi, daşınması imkanları və mühitə ayrılması tədqiq edilmişdir (Cədvəl 1).

Cədvəl 1.

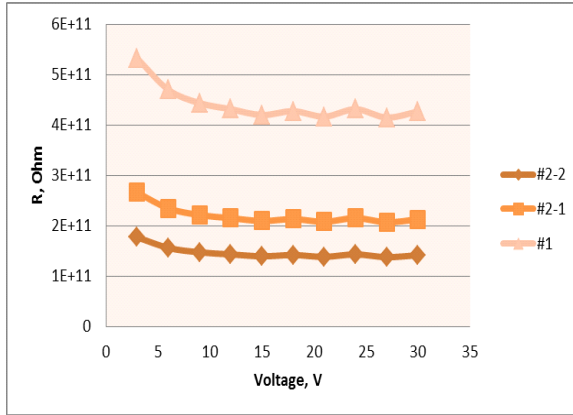
Təbii və sintetik polimerlərin maqnetit Fe_3O_4 nanohissəcikli komplekslərinə doksorubisinin immobilizə göstəriciləri, $V=20$ ml, $T=20$ °C, $t=24$ saat, $m_{\text{gel}}=50$ mq, $C_{0\text{doks.}}=500$ mq/l.

Gel daşıyıcılar	Tarazlıq qatılığı, mq/l	İmmobilizə dərəcəsi, %	Gelin tutumu, mq/q
PVPr 10 kDa- Fe_3O_4	367,3	26,54	53.08
PAT 40 kDa- Fe_3O_4	342,6	31.48	62.96
XZ- Fe_3O_4	304,8	39.04	78.08
AQ-PVPr (5%)- Fe_3O_4	310,7	37.86	75.72
QA-PVPr (5%)- Fe_3O_4	309,2	38.16	76.32

Cədvəldən göründüyü kimi, təbii polimer əsaslı Fe_3O_4 nanohissəcikli komplekslərdə (XZ- Fe_3O_4 , QA-PVPr- Fe_3O_4 , AQ-PVPr- Fe_3O_4) daşıyıcının antibiotikə görə tutumu, sintetik polimer əsaslı analogi komplekslərlə (PVPr- Fe_3O_4 , PAT- Fe_3O_4) müqayisədə yüksəkdir. Bunu təbii polimer makromolekullarının polifunksionallığı, eləcə də qarşılıqlı təsirə meylli hidroksil, karboksil və yüklü qrupların məhlulda və uyğun pH mühitində daha aktiv olması ilə izah etmək olar ki, nəticədə daşıyıcı tərkibindəki funksional qruplar kiçik molekuldu doksorubisin molekulu ilə asanlıqla elektrostatik və kimyəvi qarşılıqlı təsirdə olur.

Tədqiqatın növbəti hissəsi QA və PEQ mühitində alınmış Ag^0 nanohissəciklərin bir sıra fiziki xassələrinin (nümunələrin müqavimətinin tətbiq olunan gərginlikdən) tədqiq olunmasına əsaslanır [2]. Xüsusiyyətlərin öyrənilməsi üçün 3 müxtəlif nümunə hazırlanmış və üç fərqli temperaturda ölçmələr aparılmışdır (Şəkil 7).

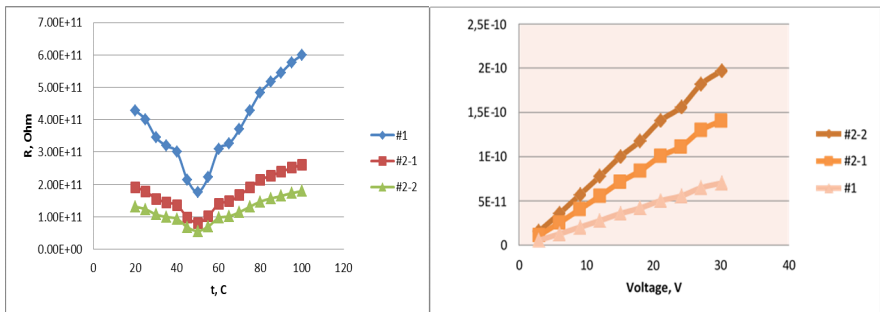
- #1 QA+PEQ +Ag ($100-150$ kqf/sm²) ($\tau = 25$ dəq) ($t = 105-110^\circ\text{C}$) ($t=20^\circ\text{C}$)
 #2-1 QA +PEQ +Ag ($100-150$ kqf/sm²) ($\tau=25$ dəq) ($t=110-120^\circ\text{C}$) ($t=40^\circ\text{C}$)
 #2-2 QA +PEQ +Ag ($100-150$ kqf/sm²) ($\tau=25$ dəq) ($t=105-110^\circ\text{C}$) ($t=60^\circ\text{C}$)



Şəkil 7. Nümunələrin müqavimətinin təbiiq olunan gərginlikdən asılılığı[2]

Qrafikdən göründüyü kimi gərginlik düşgüsünün kiçik qiymətlərində hər 3 nümunənin müqaviməti eksponensial olaraq azalır. Lakin, təxminən 15 V-dan etibarən bütün nümunələrin elektrik müqaviməti artıq gərginliyin sonrakı dəyişməsindən asılı olmur və stabil olaraq qalır.

Tədqiqatlar zamanı həmçinin anoloji polimer və gümüş nanohissəcikli nümunələrin elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığı və volt-ampere xarakteristikası da tədqiq olunmuş və asılılıq ayrılırları şəkil 8-də verilmişdir.



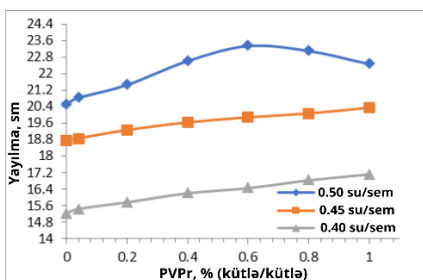
Şəkil 8. Nümunələrin müqavimətinin temperaturdan asılılığı və volt-ampere xarakteristikası[2]

Qrafiklərdən göründüyü kimi ən çox dəyişikliyə #1 nümunəsi məruz qalmışdır. 50 C-də nümunələrin müqaviməti minimum

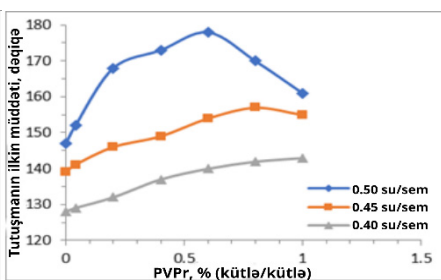
qiymətini almışdır. Çox maraqlıdır ki, hər 3 nümunənin müqaviməti temperaturdan asılı olaraq müxtəlif xarakterə malikdir. 50°C-yə qədər əgər müqavimət azalırsa, bundan sonra onların müqaviməti kəskin artır. Bu da nümunələrin tərkibində faza keçidi ilə əsaslandırılabilir. Gərginlikdən asılı olaraq tətbiq olunan nümunələrdən axan cərəyan şiddəti də əsasən xətti asılılıqla artmaqda davam edir.

Dördüncü fəsildə tamponaj sementinin bəzi fiziki-mexaniki xassələrini yaşılaşdırmaq üçün müxtəlif su/semant nisbətində hazırlanmış qarışıqlara yüksək molekulyar kütləli PVPr və PAA, eləcə də həmin polimerlər mühitində stabiləşdirilmiş maqnetit nanohissəcikləri olan formalarını əlavə etməklə tədqiqatlar nəticələri verilmişdir. Həmçinin, sərtləşdikdən sonrakı sement daşının İQ, RFA, termoqravimetrik analizləri, EİS (Elektrokimyəvi İmpedans Spektroskopiyası) spektroskopik tədqiqinin nəticələri şərh edilmişdir. Bundan başqa, 1% (kütlə) PVPr və 30-50 nm ölçülü maqnetit nanohissəcikləri əlavə edilmiş sərtləşmiş betonun lay və Xəzər dənizi suyunda adsorbsiya qabiliyyətləri müqayisəli tədqiq olunmuşdur.

Məlumdur ki, tamponaj sementlərini quyudibi zonaların bərkidilməsi zamanı tətbiq edərəkən əsas göstəricilərdən biri, təzə hazırlanmış sement məhlulunun axıcılığıdır. Müxtəlif su/semant nisbətlərində PVPr-nun qatılığının sement pastasının yayılmasına təsiri şəkil 9(a)-da verilmişdir.



a)



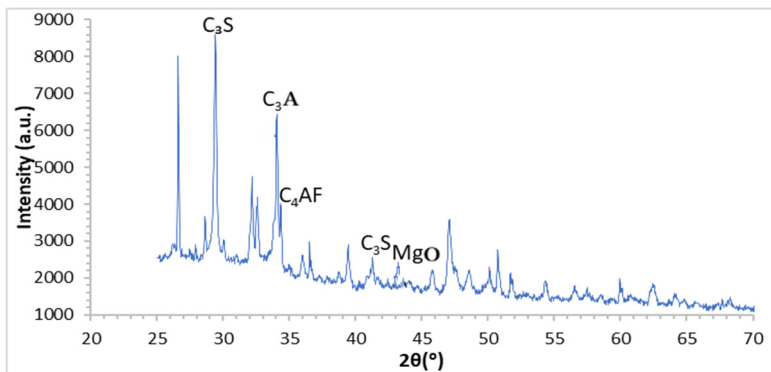
b)

Şəkil 9. Müxtəlif su-sement nisbətlərində təzə hazırlanmış sement pastasının yayılması və tutuşmasının ilkin nöqtəsinin PVPr-nun miqdarından asılılığı, T=24 °C[3]

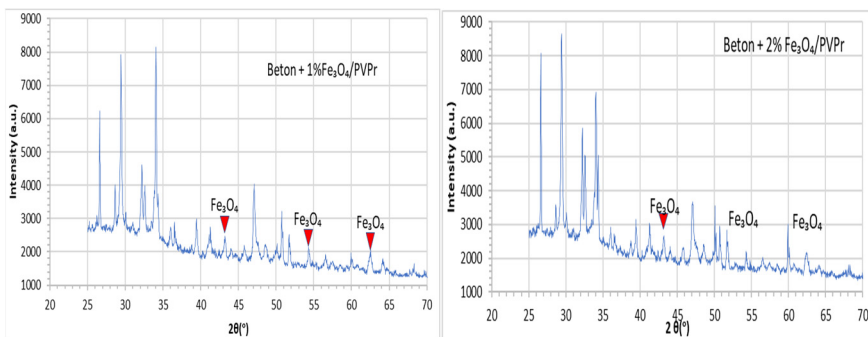
Göründüyü kimi PVPr sement məhlulunun yayılmasına 0.5 su/semant amilində kəskin təsir edir. Təzə pastanın tərkibində PVPr-nun qatılığı artdıqca yayılma bütün su/semant nisbətlərində artır. 0.6% PVPr istifadəsindən sonra bütün hallarda tədricən yayılmanın azalması baş verir. Su-semant nisbəti azaldıqca əlavə edilən PVPr məhlulunun qatılaşmasına baxmayaraq polimerin özlülüyü onun axıcılığını artırır. Daha yüksək PVPr qatılıqlarında (>5%) sement pastasının yayılması kontrol ilə müqayisədə azalır. Bunu polimerin sement tərkibində olan kationlarla yüksək dərəcədə ion əlaqəsinə daxil olaraq hidratasiya prosesini sürətləndirməsi, eləcə də polimerin özünün hidratasiyada aktiv iştirakı ilə əlaqələndirmək olar. Həmçinin, bu nəticə sement məhlulunun tutuşma nöqtələrinin tədqiqində də aydın görünür (Şəkil 9 b). Göründüyü kimi PVPr-nun kiçik qatılıqlarında tutuşma prosesi ləngiyir. Lakin polimerin 0.8% miqdarından sonra tutuşmanın ilkin nöqtəsi azalmağa-polimersiz vəziyyətə doğru dəyişir. 0.6% PVPr istifadəsini inyeksiya üçün optimal qatılıq kimi qəbul etmək olar [3].

Məlumdur ki, Rentgen-faza (XRD) analizi sement daşının kristallik faza tərkibində və strukturunda baş verən dəyişikliklərin, həmçinin əlavə olunan komponentlərin sement matrisi ilə qarşılıqlı təsirinin müəyyənləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu məqsədlə sement daşına PVPr və maqnetit (Fe_3O_4) nanohissəciklərinin daxil edilməsinin kristallik fazaların formalaşmasına və struktur xüsusiyyətlərinə təsiri rentgen-faza analizi vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar zamanı hidratlaşmış sement, PVPr-lu beton, PVPr/ Fe_3O_4 -lu beton daşlarının rentgen spektrləri əldə edilmişdir [8]. Məlumdur ki, sementdən hazırlanmış betonun XRD spektrində $2\theta = (26.58^\circ), (29.55^\circ), (32.49^\circ), (34.12^\circ), (41.32^\circ), (47.23^\circ), (50.68^\circ)$, və (51.87°) -də di- və trikalsium silikatlar, eləcə də kalsium-alüminium silikatlar üçün spesifik piklər müşahidə olunur (Şəkil 10).

Müqayisəli təhlillər aparmaq üçün fərqli beton nümunələri hazırlanmışdır. Həm polimerin, həm də maqnetit nanohissəciklərin strukturda funksiyasını müəyyənləşdirmək üçün PVPr-lu beton və PVPr/ Fe_3O_4 -lu beton daşlarının rentgen analizləri də qeydə alınmışdır (Şəkil 11).



Şəkil 10. Kontrol beton nümunəsinin 28 günlük sərtləşmədən sonrakı XRD diffraktoqramması[8]

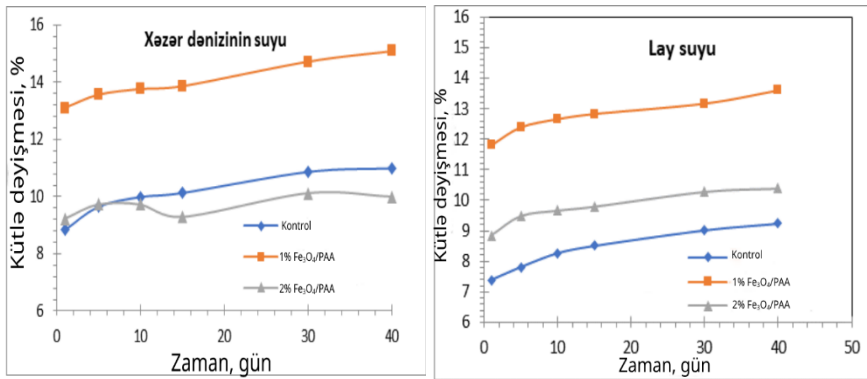


Şəkil 11. 1% və 2% $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVPr}$ ilə doldurulmuş beton nümunələrinin 28 gündən sonra XRD diffraktoqramması[8]

Müəyyən olunmuşdur ki, betonun tərkibində maqnetit nanohissəciklərinin miqdarının artması rentgen spektrdə xarakterik piklərin aydınlaşmasına və intensivliklərinin müəyyən qədər artmasına gətirib çıxarır. Həmçinin maqnetit nanohissəciklərinin daha sırt kristal strukturu betonun rentgen spektrini daha da gücləndirir. Məlumdur ki, maqnetit nanohissəciklərində dəmir atomları ion halında (yüklü) deyil, ölçüsü 30-45 nm arası olan hissəciklərdən ibarətdir. Maqnetit nanohissəciklərə xarakterik piklərin aid olduğu 2θ -larda müşahidə olunması betonda nanohissəciklərin ölçü dəyişikliyinə məruz qalmadığını göstərir. Həmçinin, maqnetit nanohissəciklərin beton məsələlərində fiziki və kimyəvi halını

saxlamaqla yerləşməsi betona gücləndirici xassələr verməyinə gətirib çıxarır [8].

Tədqiqatlar zamanı eləcə də Portland sementinin tərkibinə PAA mühitində sintez olunmuş maqnetit nanohissəcikləri əlavə etməklə hazırlanmış beton nümunələrinin bəzi adsorbsiya və fiziki xassələri öyrənilmişdir. Əldə olunan sərtləşmiş daşların 28 günlük tam bərkiməsindən sonra Xəzər dənizi və lay suyunda kütlə dəyişikləri öyrənilmiş və kontrol betonla müqayisə edilmişdir. (Şəkil 12)



Şəkil 12. PAA/Fe₃O₄ maqnetit nanohissəcikləri ilə işlənmiş sement daşının Xəzər dənizi və lay suyunda kütlə dəyişikliklərinin zamandan asılılıqları.[5]

Müəyyən olunmuşdur ki, kontrol beton və 2%-li (k/k) PAA/Fe₃O₄ nanohissəcikli beton 10 gün ərzində eyni dərəcədə adsorbsiya prosesinə məruz qalırlar. 1%-li PAA/Fe₃O₄ nanohissəcikli beton isə 4-4.5% daha çox kütlə artımına məruz qalır və nümunədə 40 gün müddətində 15%-ə qədər adsorbativ kütlə artımı baş verir. Göründüyü kimi 2% PAA/Fe₃O₄ nanohissəcikli betonda ionların nüfuzu limitlənir və hətta kontrol betonla müqayisədə daha kiçik kütlə dəyişikliyinə məruz qalır. Ümumiyyətlə bütün hallarda 40 gündən sonra kütlə artımının sabitləşdiyi açıq görünür. Ehtimal olunur ki, 1% PAA/Fe₃O₄ nanohissəcikli beton nümunəsində adsorbsiyanın yüksək olması maqnetit hissəcikləri hesabınadır. PAA makromolekulları yalnız maqnetit nanohissəciklərin ölçüsünün uzun müddətli stabil qalmasını təmin edir. Belə ki, PAA-li maqnetit nanohissəciklərinin 1% (kütlə) qatılıqda səthdə paylanması su molekullarının daxilə

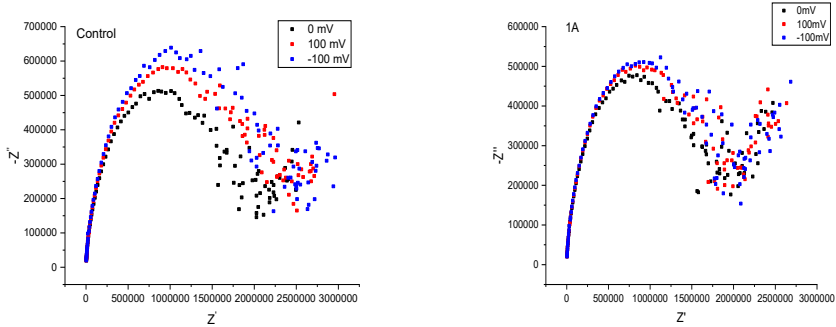
qatlara nüfuzunu təmin etməyə səbəb olan məsamələr yaratmasına imkan verir. Maqnetit nanohissəciklərin qatılığı artdıqca beton səthi hidrofoblaşdığına görə duz ionları və su molekullarının nüfuzu çətinləşir. Adsorbsiya yalnız səthdə baş verdiyindən dəmir oksidləri hidrat ionların beton daxilinə nüfuz etməsini protektə etmiş olur.

Lay suyunda aparılan müşahidələr isə dəniz suyu ilə müqayisədə nisbətən fərqli nəticələrə səbəb olmuşdur. Kontrol beton nümunəsi 40 gün müddətində lay suyunda 9-9.2% kütlə artımı əldə etmişdir. Maqnetit nanohissəcikli PAA ilə modifikasiya edilmiş betonda isə nanohissəciklərin miqdarı artdıqca lay suyunun adsorbsiyası artır. Lakin bu halda da 1% Fe_3O_4 /PAA ilə doldurulmuş beton maksimum ion adsorbsiyası göstərir. Polimerli maqnetit nanohissəciklərin miqdarını artırıdıqca ion nüfuzu çətinləşdiyindən su adsorbsiyası azalır. Dəniz suyu ilə müqayisədə bu, təbii ki, suların kimyəvi tərkibinin müxtəlif olması ilə əlaqədardır [5].

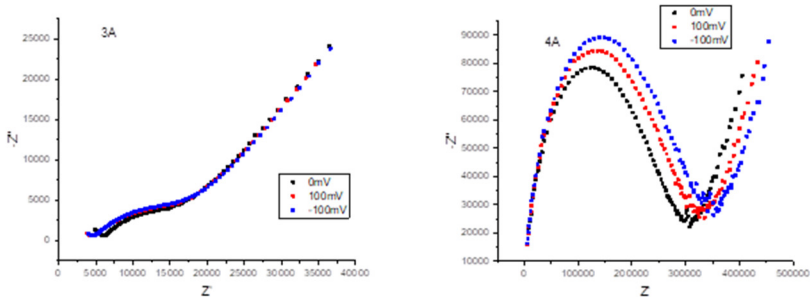
Arzuolunmaz kimyəvi prosesləri limitləmək üçün dəmir-betonda korroziyanın qiymətləndirilməsi üçün müxtəlif fiziki-kimyəvi üsullar və cihazlardan istifadə edilə bilər. Bunların arasında elektrokimyəvi impedans spektroskopiyası (EİS) müxtəlif elektrokimyəvi sistemləri xarakterizə etmək və bu sistemlərdə elektrolitik proseslərin təbiətini müəyyən etmək üçün daha effektiv bir üsuldur. Digər tərəfdən sementə üzvi, yaxud qeyri-üzvi maddə əlavə edilirsə hidratasiya zamanı pozzolan effektinin qiymətləndirilməsi üçün EİS-nin tətbiqi daha məqsədəuyğundur. Tərkibində müxtəlif polimerlər və metal-oksid nanohissəciklərinin olduğu beton/polimer, yaxud nh/beton strukturlarının EİS tədqiqatlarına rast gəlmək mümkündür. Lakin sement pastasından polimer-nh-beton formalarının hazırlanması və mikroquruluş, mexaniki və EİS xarakterizə olunması işlərinə çətin rast gəlinir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq təqdim olunan dissertasiya işində müxtəlif miqdar aşağı orta molekul kütləli hidrofil anionit PAA ilə stabilləşdirilmiş maqnetit nanohissəcikli beton nümunələri hazırlanmış və 28 günlük sərtləşməsindən sonra EİS ilə xarakterizasiyası aparılmışdır (Şəkil 13 və 14). Hazırladığımız nümunələr aşağıdakı kimi kodlaşdırılmış, daha sonra onların EİS-ləri təhlil edilmişdir [9].

Kontrol – tərkibində polimer və nanohissəcik olmayan beton;
1A - 0.025% (k/k) PAA; **3A** - 1% (k/k) PAA - Fe_3O_4 ; **4A** - 0.025% (k/k) PAA, hər birindən 0.2% (k/k) FeCl_3 və FeCl_2 ; **5A** - 2% (k/k) PAA - Fe_3O_4 ; **12B** - 0.1% (k/k) FeCl_2 və FeCl_3 duzları əlavə edilmiş beton nümunəsi.



Şəkil 13. Kontrol beton nümunəsi və 0.025% (kütlə) PAA doldurulmuş betonun 28 günlük sərtləşmədən sonra elektrik impedans spektri. Su/sement amili 0.5. Z' - $\text{Re}Z$ Ohm, Z'' - $(-\text{Im}Z)$, Ohm [9]



Şəkil 14. 1% (kütlə) PAA - Fe_3O_4 (3A) maqnetit nanohissəciyi və 0.025% (kütlə) PAA-li 0.2% (kütlə) $\text{FeCl}_3/\text{FeCl}_2$ (4A) duzları ilə sərtləşmiş betonun elektrik impedans spektri. Su/sement amili 0.5, sərtləşmə 28 günlük. Z' - $\text{Re}Z$ Ohm, Z'' - $(-\text{Im}Z)$, Ohm [9]

Şəkiləki nöqtələrin vəziyyətindən göründüyü kimi PAA-in betona əlavə edilməsi müxtəlif gərginlik qiymətlərindəki müqavimət göstəricilərinin yaxınlaşmasına və 2×10^6 Z' qiymətindən sonra Z'' -nin

yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Polielektrolit olan PAA makromolekulunun sement strukturunda immobilizə olunması, hissəciklərin uzun məsafədə əlaqələnməsini və onlar arasından keçiriciliyi təmin edir. Həmçinin müqavimət nöqtələrinin yaxın məsafədə nizamlanması betondakı kalsium və alüminosilikatların PAA zəncirləri boşluğunda strukturlaşdırıldığını sübut edir [9].

Beton tərkibinə PAA-in dəmir duzları ilə kompleksinin əlavə edilməsi onun həm mexaniki xassələri, həm də EİS-nə təsir edir. Dəmir duzlarının PAA və silikatlarla müqayisədə üstün elektrolit xassəsinə malik olması onun elektrik müqavimətinə kəskin təsir edir. (Şəkil 14-4A).

NƏTİCƏLƏR

1. Təbii polisaxarid olan QA mühitində gümüş nanozərrəcikləri sintez olunmuş və xassələri öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, hidrogen peroksiddə nisbətən natrium borhidrid iştirakı ilə gümüş ionlarının reduksiyası daha sürətli baş verir. Alınmış nanokompozitlər rentgenoqrafik analiz üsulu ilə xarakterizə olunmuş və göstərilmişdir ki, nanohissəciklərin ölçüləri 32 nm təşkil edir. Müəyyən olunmuşdur ki, reduksiya prosesindən sonra QA makromolekulunda kimyəvi struktur dəyişikliyi olur.[1]
2. QA, AQ, XZ, PEQ iştirakında Ag^0 və Fe_3O_4 -in nanohissəcikləri alınmış və bioloji fəallıqları tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, gel matrisasına maqnetit nanohissəciyin daxil olması onun fizioloji fəal maddələrə görə immobilizə tutumunu artırır. Bu isə həmin metal nanohissəcikli komponentlərdən bioloji aktiv birləşmələrin daşınması sistemlərində istifadə imkanlarını yüksəldir. Ag^0 nanohissəcikləri ilə müqayisədə gələn tutumunun və immobilizə dərəcəsinin yüksək olması maqnetit nanohissəciklərin sıfır oksidləşmə dərəcəsinə deyil, valent imkanları koordinasiya yaratmağa imkan verən II və III valentli qarışıq oksid şəklində mövcudluğu ilə əlaqədardır. [4]
3. Ölçüsü 1 sm^2 , kütləsi 30-40 mq olan sintetik torlara təbii və sintetik polimerlər, eləcə də onların Ag^0 və maqnetit Fe_3O_4

nanohissəcikli polimer-kolloid sistemləri və sərbəst levofloksasin hopdurulmuş və test kulturalar aparılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, ən aktiv bakterisid təsir göstərənlər tərkibində Ag^0 və Fe_3O_4 nanohissəcikləri olan nümunələridir. Belə ki, bu nümunələr Qram mənfi (*Ps.aeruginosa* və *E.coli*) və Qram müsbət (*St.aureus*) bakteriyalarına qarşı ən aktiv öldürücü təsir göstərmiş, lizis zonalar 35-40 mm diametrində olmuşdur. [7]

4. QA və PEQ mühitində stabilləşmiş Ag^0 nanokompozitlər əsasında yüksək pyezoelektrik xassələrə malik yeni materialların alınmasının fiziki xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, QA və PEQ mühitində stabilləşmiş gümüş nanohissəciklərinin ölçüləri 7-9 nm aralığında dəyişir və nanotərkibli nümunələrdən axan cərəyan şiddəti uyğun şərtlər altında digərlərindən təqribən 5 dəfə çoxdur və gərginliyin 0-50 V qiymətlərində asılılıq xəttidir.[2]
5. Sementin kütləsinin 1-2%-i miqdarında PAA/ Fe_3O_4 nanohissəcikləri ilə modifikasiya olunmuş beton nümunələrinin dəniz və lay suyunda kütlə dəyişiklikləri tədqiq edilmişdir. Araşdırmalar göstərmişdir ki, yalnız PAA tərkibli beton nümunələri ilə müqayisədə, PAA/ Fe_3O_4 nanohissəcikli nümunələrin yüksək minerallı dəniz suyunda kütlə dəyişmələri nanohissəciklərin miqdarından kəskin şəkildə asılıdır. Bundan əlavə, nümunələrin infraqırmızı (İQ) spektroskopiyası və rentgen difraksiyası (RFA) üsulları ilə struktur analizləri aparılaraq, polimerin və nanohissəciklərin materialdakı kimyəvi vəziyyəti müəyyən edilmişdir. Elektrokimyəvi impedans spektroskopiyasının nəticələrinə görə isə PAA/ Fe_3O_4 -lü beton nümunələrinin müqavimət qiymətləri kontrol və PAA/beton ilə müqayisədə xeyli fəqlənmişdir.[5]
6. 0.50, 0.45 və 0.40 su/sement nisbətində hazırlanmış qarışıqlara yüksək molekul kütləli PVPr əlavə edilməklə betonun mexaniki və fiziki xassələri tədqiq edilmişdir. Araşdırmalar göstərmişdir ki, 0.50 su/sement nisbətində, tərkibində 0.8% PVPr saxlayan betonun su adsorbsiyası 14 və

28 gün ərzində müvafiq olaraq 15.65%-dən 20.71%-ə və 16.74%-dən 21.67%-ə qədər artmışdır. Təzə sement pastasının yayılması 20.54 sm-dən 23.12 sm-ə qədər artmış, tutuşmanın ilkin mərhələsi 147 dəqiqədən 170 dəqiqəyə, bərkimənin son nöqtəsi isə 238 dəqiqədən 261 dəqiqəyə qədər uzanmışdır. 1% PVPr əlavəli betonun rentgen faza analizində (RFA) müşahidə olunan zəif intensivlikli əlavə piklər polimerin sement matrisində immobilizə olunduğunu təsdiqləmişdir.[3]

Dissertasiya işinin mövzusunə aid çap olunmuş elmi əsərlərin siyahısı

1. Tapdıqov, Ş.Z. Qummiarabik mühitində gümüş nanokompozitlərin alınması və stabilizə edilməsi / Ş.Z. Tapdıqov, S.M., Məmmədova, S.F. Hübətova. [və b.] // Bakı Universitetinin Xəbərləri Jurnalı, (Təbiət Elmləri seriyası) - 2013, №2, - s. 22-27.
2. Тапдыгов, Ш.З., Гумбатов, С.Ф., Мамедова, С.М., Зейналов, Н.А. Поли-N-винилпирролидон в процессе восстановления и стабилизации наночастиц серебра // Всероссийская конференция с международным участием молодых учёных по химии тезисы докладов, Менделеев-2014. Санкт-Петербург, - 2014. - с.101-102.
3. Тапдыгов, Ш.З., Мамедова, С.М., Гумбатов, С.Ф., Кулибекова, Л.Н., Зейналов, Н.А. Получение и стабилизация наночастиц серебра с участием гуммиарабика // Всероссийская конференция с международным участием молодых учёных по химии тезисы докладов, Менделеев-2014, Санкт-Петербург, - 2014, - с.103-104.
4. Humbatova, S.F., Nasiyyati, E.F., Babaeva D.T., Zeynalov, N.A. Study formation optimum condition of silver nanoparticles in presense gummiarabica // XXVI Международная Чугаевская конференция по координационной химии, Тезисы докладов, Казан, - 2014, - с.439.
5. Гумбатова, С.Ф., Тапдыгов, Ш.З., Маммедова, С.М.,

- Надири, М.И., Багбанлы, С.И., Зейналов, Н.А. Синтез наночастиц серебра в системе полиэтиленгликоль-гуммиарабик // Тезисы докладов кластер конференции по органической химии «ОргХим-2016», Санкт-Петербург (пос. Репино), 27 июня-1 июля, - 2016, - с.560.
6. Tapdiqov, Sh.Z., Humbatova, S.F., Zeynalov, N.A., Taghiyev, D.B. Polymer composite material based on chitosan and silver nanoparticles // IV International Scientific Conference of Young Researchers dedicated to the 93rd Anniversary of the National leader of Azerbaijan H.Aliyev. Baku, 29-30 April, - 2016, - p.223-224.
 7. Hübətova, S.F. Qummiarabik və polietilenqlikol mühitində alınmış gümüş nanohissəciklərinin bəzi fiziki xassələrinin öyrənilməsi // SDU “Elmi xəbərlər” jurnalı. -2021, №3, - s. 38-41.
 8. Humbatova, S.F., Tapdiqov, Sh.Z., Mammedova, S.M., Guliyeva, J.E., Fariz, A.A. The effect of magnetite nanoparticles on the adsorption behavior of poly-N-vinylpyrrolidone added concrete // Ankara International Congress On Scientific Research - IX, Ankara -Türkiyə. - 2023. - s. 836-837.
 9. Tapdiqov, Sh.Z. The physical-mechanical behavior and chemical bonding nature of poly-N-vinylpyrrolidone modified cement concrete / Sh.Z. Tapdiqov, E.Y. Melikov, S.F. Humbatova [et. al.] // Heliyon, - 2024, Vol.10, Iss.4 - e26039.
 10. Humbatova, S.F., Mammedova, S.M., Tapdiqov, Sh.Z., Guliyeva, J.E. Mass gradient study of polyacrylamide/Fe₃O₄ magnetite nanoparticle added concrete in caspian sea water // Tokyo 8th International Innovative Studies & Contemporary Scientific Research Congress, Tokyo - Yaponiya. - 2024. - s. 22-23.
 11. Humbatova, S.F., Investigation of mass gradient of concrete filled with polyacrylamide / Fe₃O₄ magnetite nanoparticles in caspian sea and formation water medium / S.F. Humbatova, Sh.Z. Tapdiqov, J.E. Guliyeva [et al.] // Chemical Problems. - 2024. -Vol.22, No.1. -p.95-102.

12. Tapdıqov, Sh.Z., Mammadova, S.M., Guliyeva, J.E., Humbatova, S.F., Gulamirov, A.M. Adsorption behavior of poly-N-vinylpyrrolidone added cement concrete in different ionic strength waters //XXVII Всероссийская Конференция Молодых Учёных-Химиков (С Международным Участием) Нижний Новгород, 16-18 апреля 2024 г, с.262.
13. Tapdıqov, Ş.Z., Poliakrilamid-nano maqnetit hissəcikləri ilə doldurulmuş beton kompozitin elektrokimyəvi impedans tədqiqi./ Ş.Z. Tapdıqov, A. Güləliyev, S.M. Məmmədov. [və b.] // PAHTEI-Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions.- 2024. -Vol.26.Iss. Spezial. p.213-219.
14. Tapdıqov, Sh.Z., FTIR and X-ray Investigation of poly-N-vinylpyrrolidone and nano magnetite-Fe₃O₄ modified concrete structure. / Sh.Z. Tapdıqov, S.F. Humbatova, S.M. Mammadova [et. al.] // Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions Journal. 2024, Vol.36, No 4, p.144-154.
15. Tapdıqov, Sh.Z., Spectroscopic investigation of poly-n-vinylpyrrolidone modified magnetite nanoparticles added concrete. / Sh.Z. Tapdıqov, J.E. Guliyeva, S.M. Mammedova. [et. al.] // Slovak International Scientific Journal. Bratislava, Slovakia. 2024. №83, p.16-23.
16. Humbatova, S.F., Immobilization and study of trypsin on magnetite-Fe₃O₄ nanoparticle-based natural and synthetic polymer hydrogels / S.F. Humbatova, N.A. Zeynalov, D.T. Babaeva. [et. al.] // Baku. 2024. №1, Azerbaijan Chemical Journal. p. 97-104.
17. Humbatova, S.F., Study of biological activity of Fe₃O₄ nanocomposite complexes with trypsin obtained in the medium of synthetic and natural polymers / S.F. Humbatova, N.A. Zeynalov, R.H. Suleymanova. [et. al.] // SDU. Elmi Xəbərlər. Sumqayıt. 2024. Vol. 24. №3, s.49-56.
18. Humbatova, S.F., Study of the antibacterial activity of levofloxacin biocomplexes based on natural and synthetic polymers on medical meshes / S.F. Humbatova, N.A. Zeynalov, E.F. Aliyeva [et. al.] // Nature&Science. International Scientific

Journal. Baku, Azerbaijan. 2024. Vol.6. p.41-48

19. Humbatova, S.F., Zeynalov, N.A., Babayeva, D.T., Investigation of the antibacterial activity of hydrogels obtained based on metal nanoparticles, natural and synthetic polymer complex with levofloxacin. // International Biotechnology&Nanotechnology Congress. Ardahan, Turkey. 2024. p.79-80.
20. Humbatova, S.F., The influence of the pH medium on the swelling kinetick of biopolymer-magnetite Fe_3O_4 nanoparticles gel systems. // “Makromolekullu Birləşmələr Texnologiyasının Müasir Problemlər” Beynəlxalq Elmi Konfransı. Azərbaycan, Bakı. s.57.
21. Humbatova, S.F., Zeynalov, N.A., Aliyeva, E.F., Nasiyyati, E.F., Immobilization and study of doxorubicin and trypsin in biopolymer- Fe_3O_4 magnetite nanoparticle gel systems. // International Ceramics and Composite Materials Symposium.Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey. s.196-198.



Dissertasiyanın müdafiəsi 02 oktyabr 2026-cı il tarixində saat 11⁰⁰ Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi “Kimya İnstitutu” PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.15 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.113.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi “Kimya İnstitutu” PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi “Kimya İnstitutu” PHŞ-nin rəsmi internet saytında (www.kqki.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 02 sentyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:19.06.2026

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38994

Tiraj: 100