AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

AQAROZA HİDROGELİNİN FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİNƏ BİR SIRA HİDROFİL VƏ HİDROFOB TƏBİƏTLİ ƏLAVƏLƏRİN TƏSİRİ

İxtisas: 2206.01 – Molekulyar fizika

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Aynur Heydərqulu qızı Əsədova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin Maddə quruluşu kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: – fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Eldar Əli oğlu Məsimov

– fizika- riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Abbas Rəhim oğlu İmaməliyev

Rəsmi opponentlər: – fizika elmləri doktoru, dosent
Gülnara Əhməd qızı Haqverdiyeva

– fizika elmləri doktoru, professor
Müsavər Abdusalam oğlu Musayev

– fizika üzrə fəlsəfə doktoru
Aygün Balayaz qızı İbrahimli

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:
________________ fizika elmləri doktoru, dosent
Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:
________________ fizika üzrə fəlsəfə doktoru
Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva

Elmi seminarın sədri:
________________ fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Niftalı Mehralı oğlu Qocayev

Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi * BAKI DÖVLƏT UNİVERSİTETİ p.h.ş. * Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan * BAKU STATE UNIVERSITY l.e.p.l.

Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi
BAKI DÖVLƏT UNİVERSİTETİ p.h.ş.
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Baku State University l.e.p.l.
BDU ELMİ KATİB
SCIENTIFIC SECRETARY
İmzanı təsdiq edirəm:
(S.A.A.)
"25" 06 20 24

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Polimer gelləri başqa materiallarda rast gəlinməyən unikal xassələrə malikdirlər: öz çəkisindən 1000 dəfələrlə çox həlledicini özündə saxlaya, 10 dəfədən çox deformasiyaya uğraya bilirlər. Bu xüsusiyyətlərinə görə hidrogellər (su mühitində yaranan gellər) geniş tətbiq sahələrinə malikdirlər. Onlardan tibbdə, materialşünaslıqda, biotexnologiyada, qida texnologiyasında, kosmetologiyada və s. geniş tətbiq olunur. Bunlara misal olaraq orqan mühəndisliyini (sümük, qığırdaq, yumşaq kontakt linzaları, əzələ və yumşaq toxuma kimi orqanların orqanizmlə uyuşan süni orqanlarla əvəz olunması), keramika texnologiyasını (3D-printerlərin köməyi ilə çox incə detalların hazırlanmasını), farmakalogiyanı (dərman preparatlarının saxlanması, təsir müddətinin uzadılması və hədəf orqana çatdırılması), yeyinti sənayesini (marmelad, dondurma və bir çox yeyinti məhsullarının keyfiyyətinin yaxşılaşdırması və saxlama müddətinin uzadılmasını, süni qidaların və hopdurucu materialların yaradılmasını) və s. göstərmək olar. Son zamanlar hidrogellərdən gələcək tibbi məqsədlər üçün toxumaları əvəz edən materialların və regenerativ tibb üçün bağlayıcı iplərin hazırlanması istiqamətində böyük səylər göstərilir. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, canlı orqanizmlərdə baş verən bir çox proseslər gellərin analoqları kimi qəbul oluna bilən heterogen biopolimer sistemlərində baş verir. Bütün bunlar göstərir ki, konkret tətbiq sahəsinə uyğun, əvvəlcədən məlum xassələrə malik gellərin axtarışı, alınması, tədqiqi və tövsiyə olunması çox aktualdır. Polimer gellərində zol-gel faza keçidinin baş vermə mexanizminin, onların strukturunun formalaşmasının qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi, həm bərk cisimlərin, həm də mayelərin bir sıra xassələrini (elastiklik, yüksək elastiklik, axmama, səs dalğalarının yayılması) özündə saxlayan xüsusi bir faza halı kimi tədqiqi nəzəri cəhətdən də çox önəmlidir.

Bu deyilənləri nəzərə aldıqda polimer gellərinin fiziki xassələrini onların strukturu ilə əlaqələndirmək və bunun əsasında gelin xassələrinin məqsədyönlü şəkildə idarə oluna bilməsi mümkünlüyünün sübutu böyük nəzəri və praktik maraq daşıyır.

İşdə tədqiq olunan aqaroza gelinin fiziki xassələrinə müxtəlif faktorların təsirinə aid çoxsaylı işlər görülsə də, bu xassələrin idarə olunmasının elmi əsasları, hesab edirik ki, axıra qədər işlənib hazırlanmamışdır. Dissertasiya işi bu boşluğun, qismən də olsa, doldurulmasına xidmət edə bilər.

Tədqiqatın obyekti və predmeti.

Tədqiqatın obyekti kimi İsveçrənin "CONDA" şirkətinin istehsal etdiyi qırmızı dəniz yosunlarından alınan tozşəkilli aqarozanın suda məhlullarından alınmış hidrogellər götürülmüşdür.

Aqarozanın suda məhlulları, bu məhlullarda temperaturun və müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçik molekullu birləşmələrin (çaxır, kəhraba və limon turşularının natrium duzu, NaCl, KCl, $CaCl_2$ və izoamil spirti) təsiri ilə formalaşan hidrogellərin fiziki xassələrinin, həmçinin onlarda baş verən zol-gel faza keçidinin tədqiqi təqdim olunan işin predmeti olmuşdur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:

Qeyd olunduğu kimi, gellər, xüsusilə də hidrogellər geniş tətbiq sahələrinə malikdirlər: tibb, qida sənayesi, farmakologiya, materialşünaslıq və s. Tətbiq sahələrinin müxtəlifliyi bu sahələrə uyğun gellərin alınmasını tələb edir. Tələb olunan xassələrə malik gellərin alınmasına nail olmaq üçün aqaroza hidrogelinin timsalında gellərin fiziki və fiziki-kimyəvi xassələrinin, məhlul-gel faza keçidinin və bu xassələrə müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçik molekullu birləşmələrin təsirinin öyrənilməsi işin əsas məqsədini təşkil edir. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli qarşıya qoyulmuşdur:

▪ Reoloji metodlar vasitəsi ilə aqarozanın suda duru məhlullarının özlülüyü, xarakteristik özlülüyü, Haqqins sabiti və aktivləşmə parametrləri təyin olunmuş və bu parametrlərə müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçikmolekullu birləşmələrinin təsiri tədqiq olunmuşdur.

▪ Fırlanma viskozimetrinin köməyi ilə aqaroza gelinin reoloji xassələri və bu xassələrə müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçikmolekullu birləşmələrin təsiri tədqiq edilmişdir;

▪ İşığın dinamik səpilməsi metodunun köməyi ilə aqarozanın suda məhlulundakı hissəciklərinin sayının və ölçüsünün aqarozanın

konsentrasiyasından asılılığını, həmçinin məhlula əlavə edilmiş müxtəlif müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçikmolekullu birləşmələrin bu asılılığa təsiri tədqiq edilmişdir;

▪ UV-vis spektroskopiyası metodu köməyi ilə geləmələgəlmə və gelin ərimə temperaturlarının aqarozanın konsentrasiyasından asılılığı və müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçikmolekullu birləşmələrin bu asılılığa təsiri tədqiq edilmişdir.

▪ Aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası metodunun köməyi ilə aqarozanın suda məhlulundakı hissəciklərinin sayının və ölçüsünün aqarozanın konsentrasiyasından asılılığı, həmçinin məhlula əlavə edilmiş müxtəlif müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi kiçikmolekullu birləşmələrin bu asılılığa təsiri tədqiq edilmişdir;

▪ Konduktometriya metodunun köməyi ilə aqarozanın suda məhlulundakı ionların təbiəti, konsentrasiyasıı, yürüklüyü və müxtəlif hidrofob və hidrofol əlavələrin bu kəmiyyətlərin qiymətində yaratdığı dəyişikliklər tədqiq edlmişdir.

Tədqiqat metodları. Tədqiqat işində reologiya, fırlanma viskozimetriyası, UV-vis spektrofotometriya, aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası, işığın dinamik səpilməsi və konduktometriya metodlarından istifadə olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Aqarozanın suda məhlulunda özlü axının aktivləşmə parametrlərinə aqarozanın konsentrasiyasının və müxtəlif əlavələrin təsirinin müəyyən edilməsi;

2. Aqarozanın müxtəlif konsentrasiyalarında geləmələgəlmə (T_{gel}) və gelin ərimə ($T_ə$) temperaturlarının təyin edilməsi və müxtəlif əlavələrin bu temperaturlarda yaratdıqları dəyişikliklərin qiymətləndirilməsi;

3. Optik sıxlığın temperatur asılılığında müşahidə olunan və gelin termal möhkəmliyini xarakterizə edən histerezis əyrilərinin tədqiqi.

4. Gelin elektrik xassələrinin, həmçinin bu xassələrə aqarozanın konsentrasiyasının və gelə daxil edilmiş əlavələrin təsirinin öyrənilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. Viskozimetrik ölçmələr əsasında aqarozanın suda duru məhlullarında makromalekulun müxtəlif konformasiya halları öyrənilmiş, eyni zamanda bu konformasiya hallarının birinin digərinə keçid temperaturu və bu temperatura əlavələrin təsiri tədqiq olunmuşdur.

2. Fırlanma viskozimetrinin köməyilə aparılan ölçmələr göstərir ki, aqarozanın konsentrasiyasının artması axma gərginliyinin və ən kiçik Nyuton özlülüyünün artmasına səbəb olur. NaCl, KCl və $CaCl_2$ duzlarının gelə az miqdarda (0,5 mol %-i) əlavə edilməsi onun özlülüyünü əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu duzların axma gərginliyinin qiymətinə də fərqli dərəcədə təsir etdiyi müəyyən edilmişdir. NaCl duzu axma gərginliyini, demək olar ki, dəyişmir, $CaCl_2$ nəzərə çarpacaq dərəcədə artırır. KCl duzu isə axma gərginliyini güclü şəkildə artırır.

3. İşığın dinamik səpilməsi metodu ilə aparılan tədqiqatlar aqaroza gelinin stukturunda iki növ hissəciyin olduğunu göstərir: ölçüləri aqarozanın konsentrasiyasından, temperaturdan və verilmiş temperaturda saxlanma müddətindən asılı olan iri hissəciklər; ölçüləri yuxarıda qeyd olunan amillərdən asılı olmayan xırda hissəciklər. Xırda hissəciklərin ölçüləri təklənmiş bispirallara uyğun gəlir. İri hissəciklər isə çoxlu sayda bispiralları özündə birləşdirən assosiatlardır.

4. Aqaroza gelinin bulanıqlıq spektrinin ölçülməsi nəticəsində geldə müşahidə olunan termal histerezis xassələri tədqiqi olunmuş və göstərilmişdir ki, gelin əmələ gəlməsi, onun dağılması (əriməsi) ilə müqayisədə daha dar temperatur intervalında baş verir. Histerezisin dərəcəsi, yəni gelin ərimə və geləmələgəlmə temperaturları arasındakı fərq aqarozanın konsentrasiyası artdıqca artır.

5. Aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası metodu ilə göstərilmişdir ki, hidrofob əlavə (izoamil spirti) aqaroza gelinin dielektrik relaksasiyasını zəif dəyişdirir, hidrofil əlavə (çaxir turşusunun Na duzu) isə aşağı tezliklər tərəfə sürüşdürür. Bu xüsusiyyətlər məhlulun özlülüyündə baş verən dəyişikliklərlə bağlıdır.

6. Konduktometriya metodunun köməyi ilə aparılan ölçmələrin nəticələrndən istifadə edərək göstərilmişdir ki, aqaroza–su sistemində elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı histerezis xassəsi göstərir. Aqarozanın konsentrasiyasının, həmçinin hidrofob (izoamil spirti) və hidrofil (çaxır turşusunun Na duzu) təbiətli əlavələrin histerezisin sahəsinə (gelin möhkəmliyinə) təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hidrofil təbiətli əlavə geli möhkəmləndirir: geləmələgəlmə və gelin ərimə temperaturları yuxarıya doğru sürüşdürür. Hidrofob təbiətli əlavə (izoamil spirti) isə əksinə geli zəiflədir, yəni geləmələgəlmə və gelin ərimə temperaturlarını aşağıya doğru sürüşdürür.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Tədqiqat obyekti kimi seçilən aqaroza elmin və sənayenin müxtəlif sahələrində (yeyinti sənayesi, keramika texnologiyası, təbabət, biotexnologiya və s.) geniş tətbiq olunur. Aqaroza-su sisteminə müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi birləşmələr əlavə etməklə göstərilən sahələrdə və konkret texnoloji proseslərdə tələb olunan fiziki xassələrə malik gellərin alınması böyük prakti əhəmiyyət daşıyır. Xüsusi diqqət çəkən cəhətlərdən biri də odur ki, aqarozanın suda məhlullarının gel əmələ gətirən və gətirməyən konsentrasiyalarda tədqiqi, canlı orqanizmlərin əsas tərkib hissələrində (qan, hüceyrə, toxuma, beyin maddəsi və s.) baş verən prosesləri və onların xassələrini dərindən başa düşməyə, onları modelləşdirməyə və alınan nəticələri orqan mühəndisliyində (süni əzələ, qığırdaq və s. yaradılması) tətbiq etməyə kömək edir.

Aprobasiyası və tətbiqi: Dissertasiya işinin əsas müddəaları və alınmış nəticələr respublika və beynəlxalq səviyyəli bir sıra elmi konfranslarda müzakirə olunmuş və onların materiallarında dərc edilmişdir:

- Fizikanın Müasir Problemləri VII Respublika Konfransı, "Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası" (Azərbaycan, Bakı, Bakı Dövlət Universiteti,20-21 dekabr, 2013)
- Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların "Fizika və Astronomiya Problemləri" Respublika Elmi Konfransı (Azərbaycan, Bakı, Müəllim nəşriyyatı, 22 may, 2014)

- Fizikanın Müasir Problemləri VIII Respublika Konfransı, "Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası"(Azərbaycan, Bakı, Bakı Dövlət Universiteti, 24-25 dekabr, 2014)
- Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Azərbaycan, Bakı, Qafqaz Universiteti nəşriyyatı,18- 19 Aprel, 2014)
- Fizikanın Müasir Problemləri VIII Respublika Konfransı, "Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası (Azərbaycan, Bakı, Bakı Universiteti nəşriyyatı, 25-26 dekabr, 2015)
- Müasir Təbiət Və İqtisad Elmlərinin Aktual Problemləri Beynəlxalq Elmi Konfransı (Azərbaycan, Gəncə, 04-05 may, 2018)
- Academician G.B.Abdullayev Centenary İnternational Conference and School Modern Trends in Condensed Matter Physics (Azərbaycan, Bakı, 24-26 sentyabr , 2018)
- İnternational Conference Modern Trends in Physics (Azərbaycan, Bakı, Bakı Dövlət Universiteti, 01-03 may, 2019)
- XII Всероссийская Школа-Конференция Молодых Ученых Теоретическая И Экспериментальная Химия Жидкофазных Систем (Россия , Иваново: 7-11 октября , 2019)
- Silk Road International Scientific Research Conference (Azerbaijan, Baku: December 8-9, 2022)
- II Международная Научная Конференция «Современные Тенденции Развития Физики Полупроводников: Достижения, Проблемы И Перспективы (Узбекистан, Ташкент: 27-28 декабрь, 2022)

Dissertasiyanın nəticələri 2-si Web of Science bazasına daxil olan impakt faktorlu jurnallarda olmaqla 10 elmi məqalə 11 konfrans materialı dərc olunmuşdur..

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin "Maddə quruluşu" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin quruluşu, həcmi və əsas məzmunu

Dissertasiya işi giriş, beş fəsil, əsas nəticələr və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. 71 şəkil, 11 cədvəl və 166

adda mənbədən ibarət ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla dissertasiya işi 188289 işarədir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, işdəki elmi yeniliklər, müdafiəyə təqdim olunan əsas elmi müddəalar şərh olunmuş, aparılan tədqiqatdan alınan nəticələrin müzakirə olunduğu beynəlxalq və ölkədaxili konfranslar haqqında məlumat verilmişdir. Həmçinin dissertasiyanın elmi və praktiki əhəmiyyəti göstərilərək fəsillərin qısa məzmunu şərh edilmişdir.

Birinci fəsil xülasə xarakterlidir və aqaroza hidrogelinin reoloji, spektrofotometrik, istilik xassələrinə və elektrik xassələrinə aid görülmüş elmi işlərin qısa icmalından ibarətdir.

İkinci fəsildə aqaroza gelinin hazırlanma texnologiyası təqdim edilmişdir. Gelin hazırlanma prosesində əvvəlcə aqaroza tozu ADAM PW124 tərəzisində çəkilmiş (0.001 dəqiqliklə) və üzərinə lazımi miqdar bidistillə olunmuş su əlavə olunmuş və şişməsi (globulların açılaraq təsadüfi yumağa keçməsi) üçün bir gün saxlanılmışdır.Sonra qarışıq su hamamında 90˚C-95˚C temperaturda gel əmələ gətirməyən konsentrasiyalar halında (və ya duru hallar) 30÷40 dəqiqə, gel əmələ gətirən konsentrasiyalar halında 1÷2 saat həmcins məhlul alınana qədər (tez-tez çıxarılıb qarışdıqmaq şərti ilə) saxlanılmışdır. Nümunələr hazır olduqdan sonra steril olması üçün isti halda Şotta №4 filtirindən süzülmüşdür. Nəticədə şəffav, rəngsiz, iysiz məhlullar alınmışdır. İsti halda olan məhlul, təcrübə aparılmaq üçün viskozimetrə, spektrofotometrin küvetinə və.s istifadə edəcəyimiz cihazlara tökülmüşdür. Proses yuxarı temperaturdan (90°C-95°C) aşağı temperaturlara qədər (15°C-20°C) soyudularaq aparılmış və bu yolla geləmələgəlmənin temperaturu təyin olunmuşdur. Əks prosesi öyrənmək üçün isə tərsinə nümunə 24 saat saxlanıldıqdan sonra otaq temperaturundan başlayaraq ərimə baş verənə qədər qızdırılır, nəticədə gelin ərimə temperaturu təyin olunmuşdur. Əlavələrin təsirinə baxıldıqda isə həlledici kimi onların suda məhlulu istifadə olunmuşdur.

Bu fəsildə həmçinin aqaroza gelinin fiziki xassələrinin tədqiqində istifadə olunan Reoloji metodlar, hissəciklərin ölçülərini təyin etmək üçün istifadə olunan ən dəqiq metodlarından biri sayılan

İşığın inamik səpilməsi metodu, məhlullarda elektrik keçiriciliyini ölçmək üçün istifadə olunan Konduktometriya, düşən işığın udulması, cisimdən keçməsi, cismin udma qabiliyyətini və ya optik sıxlığını ölçmək üçün Spektrofotometrik metod, həmçinin Aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası və qurğular haqqında məlumatlar da verilmişdir.

Üçüncü fəsildə aqaroza gelinin reoloji xassələri və bu xassələrə temperaturun və müxtəlif əlavələrin təsiri öyrənilmişdir. Özlülük, xarakteristik özlülük, aktivləşmə parametrləri və axma gərginliyinin temperatur asılılıqları qurulmuşdur.

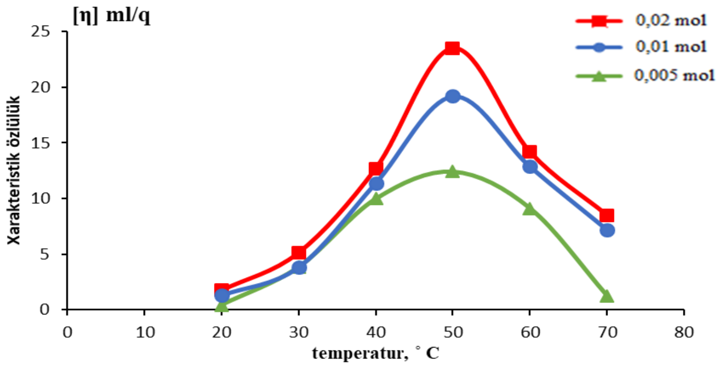
Yumaq-sərt çubuq konformasiya keçidinin baş verdiyi temperaturu təyin etmək üçün [ɳ]-xarakteristik özlülüyünün və k`-Haqqins sabitinin temperatur asılılıqlarına (20˚C÷70˚C temperatur intervalında) baxılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, aqaroza-su sistemi yuxarı kritik həllolma temperaturuna (HYKT) malikdir, yəni temperatur artdıqca həlledicinin termodinamik keyfiyyəti artır (həlledicinin polimerə hərisliyi, ikinci virial əmsal (A_2) artır). Bunun nəticəsində həlledicinin polimer yumağına nüfuz etməsi temperatur artdıqca artır, yumaq şişir, onun həcmi böyüyür və nəticədə bu da hidrodinamik selə göstərilən müqavimətin və ya xarakteristik özlülüyün artması ilə müşaiyyət olunur. Haqqins sabiti statistik yumağın daxilinə həlledicinin nüfuz etməsinə göstərilən müqaviməti xarakterizə edir və onun qiyməti temperatur artdıqca monoton olaraq azalır[1].

Bir sıra üzvi turşuların (limon, çaxır, kəhraba) Na duzlarının [ɳ] və k` parametrlərinə təsiri öyrənilmişdir (şək.1). Şəkil 1- dən göründüyü kimi, bu asılılıqlar xaraktercə yaxındırlar. Temperatur artdıqca xarakteristik özlülük əvvəl artır, sonra isə müəyyən maksimumdan keçərək azalır. Haggins sabiti isə əvvəlcə azalır, sonra isə müəyyən minimumdan keçərək artır. Alınan nəticələri izah etmək üçün qeyd edək ki, su mühitinə daxil olan duzlar dissosiasiyaya uğrayırlar və hər bir ionun ətrafında su molekullarından ibarət hidrat təbəqəsi yaranır.

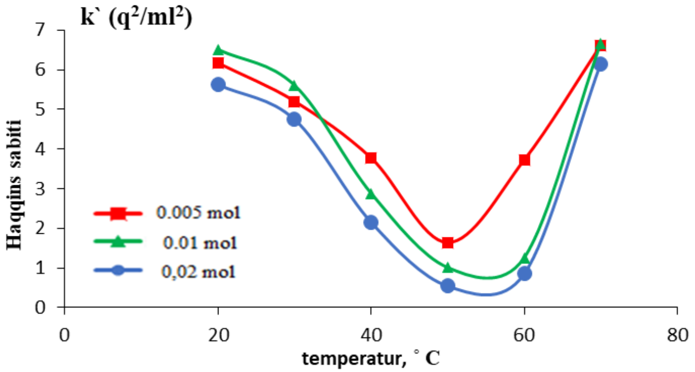
---

[1] Ghebremedhin, M. Seiffert S., Thomas A.V. Physics of agarose fluid gels: reological properties and microstructure //Current Research in Food Science – 2021, v.4, – p.436–448.

Sərbəst su molekulları ilə yanaşı nisbətən kiçik olan natrium ionları da statistik yumağın daxilinə nüfuz edirlər və orada toplaşaraq sonrakı natrium ionlarının yumağa nüfuz etmələrinə mane olurlar.



a)



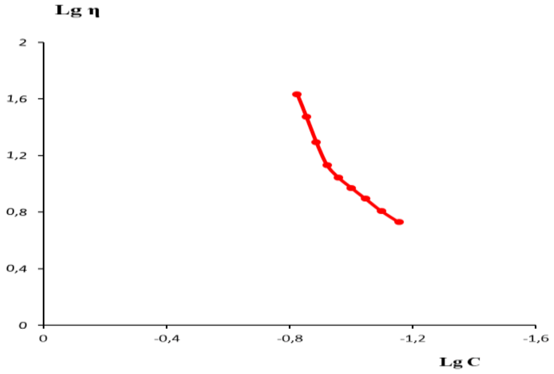
b)

Şəkli 1. Limon turşusunun natrium duzunun ($C_6H_5O_7Na_3*2H_2O$) müxtəlif konsentrasiyalarında (0.005 mol, 0.01mol və 0.02 mol) aqaroza-su sisteminin tədqiq olunan bəzi parametrlərinə a) xarakteristik özlülüyə və b) Haggins sabitinə təsiri.

Bu zaman yumağın ölçülərinin artması (şişməsi) zəifləyir və bu xarakteristik özlülüyün azalmasına gətirir. Bu effektə əlavə olaraq nəzərə almaq lazımdır ki, məhluldakı ionlar aqaroza

makromolekulundakı hidrofil funksional qruplarla kompleks əmələ gətirərək onların həcmdəki su molekulları ilə hidrogen rabitələrinə girib suyun strukturunu dağıtma effektlərini kəskin azaldırlar. Beləliklə, strukturlaşmış su molekullarının makromolekulyar yumağa keçmələrini çətinləşdirir. Bu isə yumağın şişməsini azaldır və uyğun olaraq xarakteristik özlülüyün qiymətini azaldırlar. [η]-nın azalmasının digər səbəbi isə temperatur artdıqca dissosiasiya dərəcəsinin artması nəticəsində Na ionlarının artması ola bilər. Haggins sabitinin artması da sadalanan proseslərin məntiqi nəticəsi kimi qiymətləndirilə bilər.

Özlülüyün konsentrasiyadan asılılığına görə geləmələgəlmənin kritik konsentrasiyasını müəyyən etmək mümkündür. Bunun üçün daha geniş konsentrasiya intervalında xarakterisik özlülüyün konsentrasiyadan asılılığını ikiqat loqarifmik miqyasda qurmaq lazımdır. Aqarozanın suda məhlulu üçün 25 ^{o}C temperaturda belə bir asılılıq Şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Otaq temperaturunda (25˚C-də) aqarozanın geləmələgətirməsinin kritik konsentrasiyasının təyini C_{kritik}=0,12%

Göründüyü kimi, qrafik fərqli bucaq əmsallarına malik iki düz xətdən ibarətdir. Sınma nöqtəsinə uyğun gələn konsentrasiya geləmələgəlmənin kritik konsentrasiyasını verir. Göründüyü kimi, aqaroza biopolimerinin 25 ^{o}C temperaturda su mühitində gel əmələ gətirməsinin kritik konsentrasiyası C_{kr}=0,12 çəki %-dir. Qeyd edək ki, bu kəmiyyət temperatur dəyişdikcə dəyişir.

Məlumdur ki, yüksək molekullu birləşmələrin məhlulları, xüsusən də sulu məhlulları praktikada tətbiqi nöqteyi-nəzərdən böyük əhəmiyyət kəsb edir. Məhlulların tətbiqi onların xassələri ilə, xassələri isə öz növbəsində məhlulun bütün komponentlərinin bir-biriləri ilə qarşılıqlı təsirləri nəticəsində formalaşan strukturu ilə sıx rabitədədir. Müxtəlif xarici təsirlər nəticəsində (temperatur, təzyiq, əlavələr və.s) məhlulun strukturunda (eyni zamanda xassəsində) baş verən dəyişikliklər onu xarakterizə edən fiziki-kimyəvi parametrlərin qiymətlərində özünü biruzə verir. Bu kəmiyyətlərin ən vacibləri sırasında məhlulun reoloji xassələrini xarakterizə edən özlü axının aktivləşmə parametrləridir. Özlü axının aktivləşmə parametrləri - özlü axının aktivləşmə entalpiyası, aktivləşmə entropiyası və aktivləşmə sərbəst Gibbs enerjisidir. Qeyd edək ki, aktivləşmə entalpiyası məhlulun daxilindəki qarşılıqlı təsirlərlə müəyyən olunan möhkəmliyini, aktivləşmə entropiyası isə məhlulun nizamlılığını xarakterizə edir. Müəyyən olunmuşdur ki, aktivləşmə entalpiyası kiçik temperaturlarda müəyyən maksimuma qədər artır sonra isə azalır. Bunu onunla əsaslandırmaq olar ki, aşağı temperaturlarda su yumağa daxil olaraq makromolekulun seqmentləri ilə müəyyən rabitələr yaradaraq məhlulun möhkəmliyini artıra bilər. Lakin temperaturun sonrakı artmalarında istilik hərəkətinin intensivlənməsi nəticəsində zəif rabitələr qırılır və məhlulun möhkəmliyi azalır, yəni aktivləşmə entalpiyası azalır. Lakin aktivləşmə entropiyası əksinə aşağı temperaturlarda azalır daha yüksək tempaeraurlarda isə artır. Bu isə kiçik temperaturlarda məhlulda nizamlılıq artır yəni aktivləşmə entropiyası azalır. Temperaturun sonrakı artımında istilik hərəkətinin intensivlənməsi nəticəsində məhlulda nizamlılıq azalır və aktivləşmə entropiyası artır. Özlü axının aktivləşmə sərbəst Gibbs enerjisi isə temperaturdan xətti asılıdır yəni temperatur artdıqca artır.

Dördüncü fəsil Bu fəsildə optik üsullarla işığın dinamik səpilməsi və spektrofotometrik metodlarla aqaroza gelinin mikrostrukturu və müxtəlif əlavələrin bu mikrostrukturda yaratdığı dəyişikliklər tədqiq olunmuşdur.

Aqarozanın konsentrasiyasının və temperaturun dəyişməsi assosiatlaşma dərəcəsində, bu isə öz növbəsində gelin strukturunu təşkil edən hissəciklərin ölçüsündə öz əksini tapır. Bu hissəciklərin

ölçüsü bir neçə nanometrdən yüzlərlə nanometrə qədər dəyişə bilər. Ölçüləri bu diapazonunda yerləşən hissəciklərin ölçüyə görə paylanmasını dəqiq təyin etmək üçün istifadə olunan metodlarından biri işığın dinamik səpilməsi (DLS) metodudur. Metod, mayedə dispersiya olunmuş kiçik ölçülü hissəciklərin Broun hərəkətinə əsaslanır. Əgər hissəciklərin hərəkətinə təsir edən bütün digər parametrlər məlumdursa, onda hissəciklərin sürətini ölçməklə hidrodinamik radius müəyyən edilə bilər.

Dinamik səpilmənin ölçülməsi Horiba Nano Partica SZ-100 cihazında qızdırılma rejimində yerinə yetirilmişdir. Cihaz gelin strukturunu təşkil edən hissəciklərin ölçüyə görə paylanmasını verir.

Əvvəlcə hissəciklərin ölçüyə görə paylanmasına konsentrasiyanın necə təsir etdiyi tədqiq edilmişdir. Aqarozanın gel əmələ gətirdiyi üç konsettrasiyaya baxılmışdır: 0.2 % (çəki) – zəif gel əmələ gələn hal; 0.5 % (çəki) – orta gel əmələ gələn hal; 1 % (çəki) – güclü gel əmələ gələn hal. Ölçmələr gel əmlə gəldikdən 1 saat sonra 25 ^{o}C temperaturda aparılmışdır. Ölçmələr nəticəsində məlum olmuşdur ki 0,2%-li agaroza geli (zəif gel halı) üçün ölçüsü yalnız 20 nm-dən 50 nm-ə qədər olan böyük assosiatlar mövcuddur və paylanma maksimumu 33 nm-ə uyğun gəlir, yəni gel strukturunda hissəciklərin böyük əksəriyyəti təxminən bu ölçüdə olur. Digər konsentrasiyalarda (0,5% və 1%), böyük assosiatlarla yanaşı, geldə ölçüsü təxminən 5-6 nm olan kiçik ölçülü hissəciklərə də rast gəlinir. Konsentrasiya artdıqca, böyük ölçülü hissəciklərin ölçüsü artır (ən ehtimallı ölçülər müvafiq olaraq 33 nm, 75 nm və 210 nm olur), kiçik ölçülü hissəciklərin ölçüsü isə dəyişmir.

Müəyyən olunmuşdur ki, assosiatların ölçüsü temperaturun artması ilə azalmışdır, yəni böyük assosiatlar qızdırıldıqda nisbətən kiçik olanlara parçalanır. 60 °C-dən başlayaraq, gelin strukturunda böyük hissəciklərlə yanaşı, 5 nm ölçülü kiçik hissəciklər də görünür. Bu, artıq assosiarlardan qopan səbəst bispiralların və ya təsadüfi yumaqların yaranması deməkdir.

Hidrofob və hidrofil əlavələr aqaroza gelinin yarandığı mühitin (suyun) strukturuna (sərbəst və bağlı su molekullarının say nisbətinə) təsir etməklə geli təşkil edən hissəciklərin sayına və ölçüsünə təsir edə bilər. Hidrofob və hidofil əlavələr kimi, uyğun

olaraq izoamil spirti və üzvi turşuların natrium duzları (çaxır turşusu və xörək duzu) seçilərək 0,5 mol miqdarında 1%-li aqaroza gelinə əlavə olunmuş, alınan nümunələr işığın dinamik səpilməsi metodu ilə tədqiq olunmuşdur.

Alınan nəticələrə əsasən onu qeyd etmək olar ki, hidrofil əlavə assosiatların ölçüsünü kəskin böyüdür, hidrofob əlavə isə əksinə, assosiatları bir qədər kiçildir. Bundan əlavə, hidrofil əlavələr geldəki sərbəst bispiralları yox edir, yəni bütün bispirallar assosiatlaşmaya cəlb olunurlar.

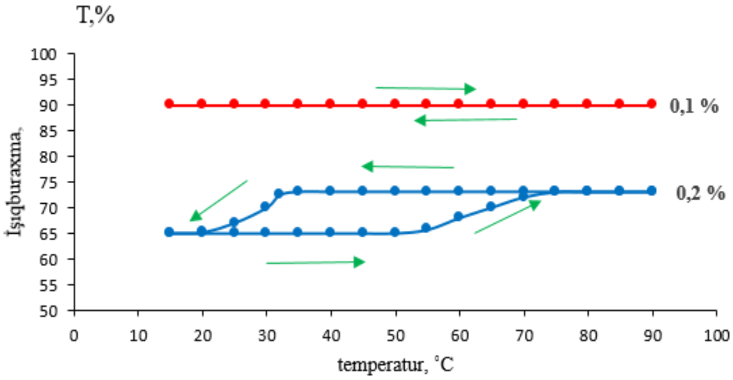
Aqaroza gelinin strukturunun spektrofotometrik metodla tədqiqi əvvəlki nəticələri təsdiqləyir yəni spektrofotometrik nəticələr onu deməyə əsas verir ki, hidrofob təbiətli duzlar geli daha da strukturlaşdırır və onun gələmələgəlmə və ərimə temperaturunu yuxarıya doğru sürüşdürür. Hidrofil təbiətli duzlar isə əksinə, geləmələgəlmə və ərimə temperaturunu aşağıya doğru sürüşdürür.

İşıqburaxma spektrinin konsentrasiya asılılığına baxılmışdır. Ölçmələr bir neçə konsentrasiyada aparılmışdır: otaq temperaturunda gel əmələ gətirməyən konsentrasiya (0,1 %); zəif gel əmələ gətirən konsentreasiya (0,2 %) və güclü gel əmələgətirən konsentrasiya (1 %). Eyni bir konsentrasiyada buraxma spektrləri həm qızma, həm də soyuma rejimlərində müxtəlif temperaturlarda aparılmışdır. Alınan nəticələrdən məlum olmuşdur ki, temperaturun yüksəlməsi ilə gelin işıqburaxması bu və ya başqa dərəcədə artır ki, bu da başa düşüləndir. Ümumi təsəvvürlərə əsaslanaraq deyə bilərik ki, temperaturun yüksəlməsi nəticəsində geldə işığın səpilməsi üçün cavabdeh olan hissəciklərin xırdalanması və dağılması baş verir.

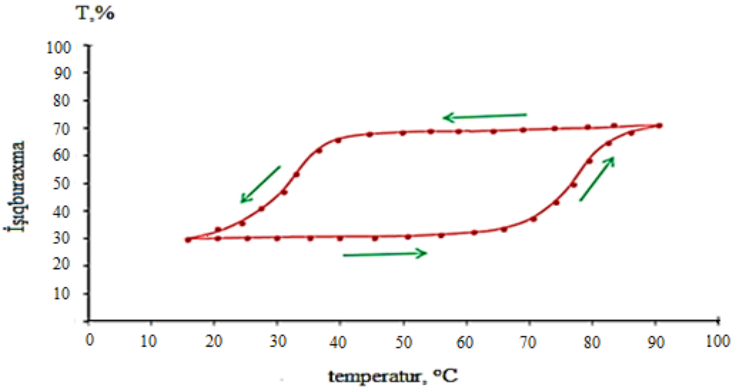
Qeyd edək ki, 0,1%-li aqaroza məhlulu otaq temperaturunda gel əmələ gətirməyən konsentrasiyadır. Bu konsentrasiyada λ_{max} = 250 nm dalğa uzunluğunda udulma piki müşahidə olunur. Bizim fikrimizcə bu pik təbii aqardakı sulfaqruplarla bağlıdır. Aqaroza təbii aqardan alınır və nə qədər təmizlənsə də həmin qruplar onun tərkibində müəyyən miqdarda qalır. Bizim eksperimentlərdə istifadə olunan aqaroza üçün geləmələglmənin kritik kritik konsentrasiyası təqribən 0,12%-dir. Ona görə də 0,2%-li aqaroza məhlulunda zəif də olsa gel alınır. Gelin fəza torundan işığın səpilməsi yuxarıda qeyd olunan udulma pikin zəifləməsi ilə nəticələnir. Aqararoza

konsentrasiyasının böyük olduğu 1 %-li gellərdə isə işığın güclü səpilməsi nəticəsində bu pik demək olar ki, örtülür.

İşıqburaxmaya görə geləmələgəlmə temperaturunu və gelin ərimə nöqtəsini müəyyənləşdirmək üçün hər bir konsentrasiya üçün bir dalğa uzunluğunda (λ_{max}= 500 nm) işıqburaxmanın qızma – soyuma dövrü üçün temperatur asılılıqları çıxarılmışdır (Şəkil 3).



a)



b)

Şəkil 3. 0,1%-li, 0,2%-li (a) və 1%-li (b) aqaroza gelinin əvvəlcə qızma, sonra soyuma rejimində 500 nm dalğa uzunluğunda işıqburaxmasının temperatur asılılığı.

Gözlənildiyi kimi, gelin əmələ gəldiyi konsentrasiyalarda termal histerezis görünür və bu histerezis aqarozanın konsentrasiyası artdıqca daha güclü ifadə olunur. Ona görə də hesab olunur ki, histerezisin sahəsi gelin termal möhkəmlik dərəcəsinin göstəricisidir.

Geləmələgəlmə (t_{gel}) və gelin ərimə temperaturlarının ($t_ə$) kəskin fərqləndiyi histerezis hadisəsi geləmələgətirən polimer məhlulları üçün xarakterik olan xassələrindən biridir. Histerezis hadisəsi gellərin ikifazalı halının olması ilə əlaqələndirilir [2]. Histerezis hadisəsi fazalara ayrılmanın tamamlanması ilə bağlı olub relaksasiya xarakteri daşıyır. Geləmələgəlmə prosesində fazalara ayrılmanın tamamlanması baş verir və bu prosesdə $\Delta t = t_ə - t_{gel}$ -in qiyməti artır. Lakin gelin formalaşması prosesində t_{gel} sabit qaldığı halda $t_ə$ artır. Gelin formalaşması prosesində Δt -nin artması, mükəmməl strukturun yaranması və bu strukturun kooperativ şəkildə dağılması üçün daha intensiv istilik hərəkətinin tələb olunması ilə izah olunur. Aqaroza hidrogelinin işıqburaxmasında müşahidə olunan güclü temperatur histerezisi belə deməyə əsas verir ki, gelin fəza torunun formalaşması və dağılması müxtəlif temperaturlarda baş verir. Histerezis, geləmələgəlmə və gelin əriməsi proseslərinin məntiqi nəticəsidir. Gelin əmələgəlməsi sistemin bir sıra mərhələləri ardıcıl keçməsi ilə bağlı olduğu halda, onun əriməsi isə eyni zamanda kooperativ şəkildə bir sıra rabitələrin qırılmasını tələb edir.

Histerezis əyriləri göstərir ki, polimer məhlulu soyuduqda gelin fəza torunun formalaşması üçün cavabdeh olan assosiatlaşma təxminən 40 ^oC ətrafında baş verir. Geli qızdırarkən assosiatların dağılması isə 60 - 70 ^oC-dən başlayır və geniş bir temperatur intervalını əhatə edir. Aqarozanın konsentrasiyası artdıqca histerezisin sahəsinin artması əsasən onun hündürlüyünün dəyişməsi ilə, yəni zol və gel halında işıqburaxma arasındakı fərqin artması ilə izah olunur. Konsentrasiya artdıqca məhlulun işıqburaxması azalır, lakin gelin işıqburaxması daha sürətlə azalır.

Histerezislərin formasından o da görünür ki, həm geləmələgəlmə temperaturu, həm də gelin ərimə nöqtəsi konsentrasiya artdıqca artır, lakin bu artım ərimə nöqtəsi üçün daha güclü hiss olunur.

---

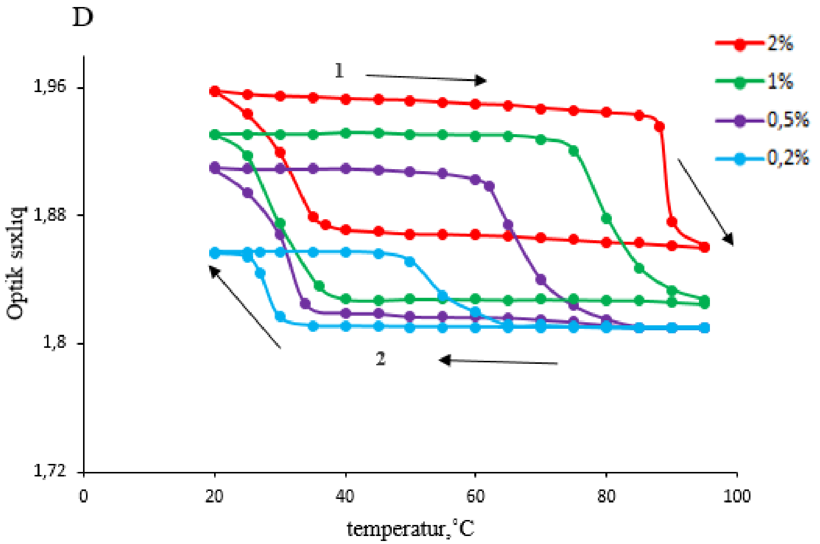
[2] Ge, G. Wang Q., Zhang Y.Z. 3D Printing of Hydrogels for Stretchable Ionotronic Devices // Adv. Funct. Mater. – 2022, v.52, – p. 62 - 68.

Aqarozanın konsentrasiyası artdıqca məhluldakı hissəciklərin – assosiatların sayı da artır. Bu da assosiatlardan işığın səpilməsi nəticəsində gelin işıqburaxmasının aqaroza konsentrasiyası artdıqca kəskin azalmasına səbəb olur. Temperaturun artması, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, geldəki (və ya məhluldakı) assosiatların bu və ya başqa dərəcədə xırdalanması ilə nəticələnir. Bu isə işığın səpilməsinin zəifləməsi nəticəsində gelin (və ya məhlulun) işıqburaxmasının artmasına səbəb olur.

Aqaroza gelinin işıqburaxmasında müşahidə olunan güclü temperatur histerezisi deməyə əsas verir ki, gelin fəza torunun formalaşması və dağılması müxtəlif temperaturlarda baş verir.

Bir çox hallarda spektrofotometrik ölçələrin nəticələrini işıqburaxma və ya udulma ilə yox, optik sıxlıqla verirlər. Optik sıxlıq dedikdə tədqiq olunan mühitin vahid uzunluğundakı udulması başa düşülür.

Şəkil 4.-də müxtəlif konsentrasiyalarda aqaroza gelinin optik sıxlığının temperatur asılılığı verilmişdir.



Şəkil 4. Aqaroza gelinin müxtəlif konsentrasiyalarının optik sıxlığının temperatur asılılığı.

Bu histerezislərə əsasən gelin ərimə ($T_ə$) və geləmələgəlmə (T_{gel}) temperaturları təyin olunur. Qrafikdəki 1 əyrisi qızma rejimini əks etdirir. Müəyyən temperatura kimi optik sıxlıq temperaturdan asılı olaraq dəyişmir, asılılıq sabit olaraq davam edir, müəyyən temperaturdan sonra azalmağa başlayır. Optik sıxlığın azalmağa başladığı həmin nöqtə gelin əriməyə başladığı nöqtədir ($T_ə$). Bu prosesin əksi olan proses isə (2 əyrisi) soyuma rejimidir. Burada da müəyyən temperatura kimi optik sıxlıq temperaturdan asılı olaraq dəyişmir, lakin müəyyən temperaturdan etibarən artmağa başlayır. Həmin temperatur geləmələgəlmənin başlanğıc temperaturu - T_{gel} hesab olunur. Yaranmış histerezisin sahəsi isə gelin möhkəmliyini ifadə edir. Geli qızdırdıqda bu asosiatların dağılması təxminən 60 ^oC-də baş verir və bu geniş temperatur intervalını əhatə edir. İşıqburaxmanın hündürlük fərqinin artması hesabına gelin konsentrasiyası artdıqca histerezisin sahəsi də böyüyür. Təcrübi nəticələr göstərir ki, həm geləmələgəlmə, həm də gelin ərimə temperaturu gelin konsentrasiyasının artması ilə artır

Aqarozanın konsentrasiyası artdıqca gellərdə eninə rabitələrin sayını artması ilə xarakterinə olunan möhkəmliyi sürətlə artır. Qeyd olunduğu kimi, histerezisin sahəsi termiki stabilliyin ölçüsüdür. Aqarozanın konsentrasiya artdıqca işıqburaxması azalır. Bunun səbəbi odur ki, geldəki kiçik hissəciklər birləşərək daha böyük hissəciklər – assosiatlar yaratmışlar. Bu assosiatlar da birləşərək gelin fəza torunu yaradır və beləliklə işığın keçməsi konsentrasiyanın artması ilə azalmağa başlayır.

Polimer məhlullarında baş verən struktur dəyişmələri sistemin komponentləri arasında müxtəlif növ qarşılıqlı təsirlərdə (hidrogen rabitələri, elektrostatik, hidrofob qarşılıqlı təsirlər və s) baş verən dəyişmələrlə bağlıdır. Struktur dəyişikliklərinə, başqa sözlə mövcud qarşılıqlı təsirlərə məhlulun komponentlərinin verdiyi payları dəyişməklə bu strukturu idarə etmək, konkret halda xassələri əvvəlcədən məlum olan gelləri almaq mümkündür. Məhlulun strukturunu və xassələrini dəyişdirmək yollarından biri sistemdə müxtəlif qarşılıqlı təsirlərə ekranlaşdırıcı təsirlər göstərən kiçik-molekullu birləşmələrin əlavə edilməsidir (duz, turşu, şəkər, spirtlər və s). Bu məqsədlə aqaroza-su məhluluna bir sıra kiçikmolekullu

hidrofil təbiətli birləşmələr- limon, kəhraba və çaxır turşularının natrium duzlarını (0,5 mol) əlavə etməklə hər bir halda onların geləmələgəlmə və ərimə temperaturlarına təsiri öyrənilmişdir.

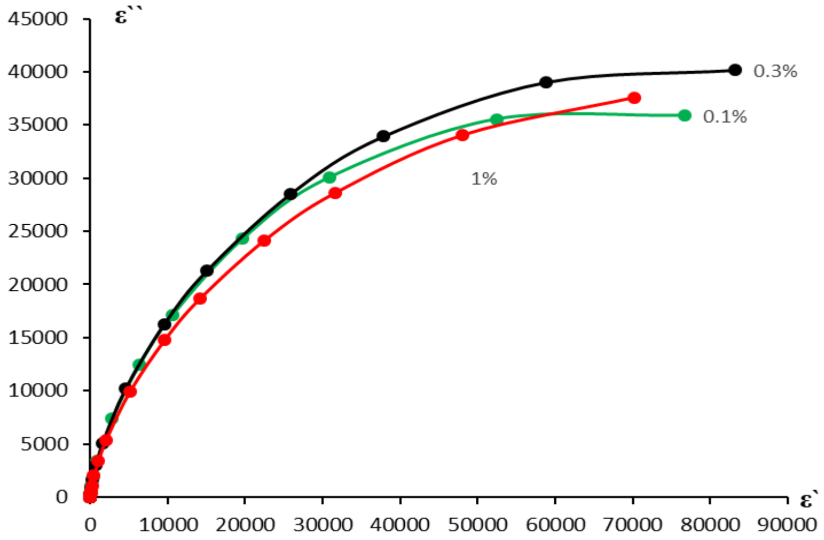
Aqaroza-su sisteminə uyğun olaraq limon, çaxır, kəhraba turşularının Na duzlarının aqaroza gelinin müxtəlif konsentrasiyalarında geləmələglmə (t_{gel}) və ərimə temperaturlarına ($t_ə$) təsiri araşdırılmışdır. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, həm hidrofil, həm də hidrofob funksional qrupları saxlayan birləşmələr t_{gel} və $t_ə$-nin qiymətlərinə təsiri zəifdir. Hesab etmək olar ki, bu təsir effekti sadalanan birləşmələrin dissosiasiyası nəticəsində əmələ gələn ionların hidrogen rabitələrini dağıtmaq effektləri ilə onların hidrofob qruplarının suya strukturlaşdırıcı təsir effektlərinin bir-birini kompensə etmələri ilə əlaqədardır.

Aqarozanın suda məhlulunun əmələ gətirdiyi gelə (1%-li) bir sıra qeyri-üzvi duzların (NaCl, KCl, KBr, $CaCl_2$) və izoamil spirtinin təsiri də öyrənilmişdir. Adları qeyd olunan əlavələrdən NaCl, KCl və $CaCl_2$ duzları hidrofil, KBr duzu ilə izoamil spirti isə hidrofob təbiətlidirlər.

Məlum olmuşdur ki, geləmələgəlmə (T_{gel}) və ərimə ($T_{ər}$) temperaturları duzların təsiri nəticəsində nəzərə çarpacaq dərəcədə artmışdır. Aqaroza-su sisteminə daxil edilmiş duzların dissosiasiyası nəticəsində əmələ gələn ionların müxtəlif dərəcədə hidratasiyaya uğramaları nəticəsində onların suyun strukturuna dağıdıcı və ya strukturlaşdırıcı təsiri buraxma spektrində də özünü biruzə verir.

Məlum olduğu kimi qeyri-üzvi duzların suyun strukturuna təsiri ionun suyu polyarizə etmə qabiliyyətindən, bu isə öz növəssində ionun ölçüsündən, yükündən, daha dəqiq desək, ionun yükünün səthi sıxlığından asılıdır. Yükünün səthi sıxlığı böyük olan ionlar ionətrafı suya strukturlaşdırıcı, kiçik səthi sıxlığa malik olan ionlar isə dağıdıcı təsir göstərir. Suyun strukturunun dəyişməsi, polimerin suda məhlulunda gelin əmələ gəlməsi üçün zəruri olan müxtəlif növ rabitələrin (dipol-dipol qarşılıqlı təsiri, hidrogen rabitəsi və.s) yarana biləcəyini müəyyənləşdirir. Üzvi duzların aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə təsiri isə bu duzların hidrofob və hidrofil funksional quruplarının suya təsirlərinin hansının üstün olması ilə əlaqədardır.

Beşinci fəsildə gelin elektrik və dielektrik xassələri keçiriciliyin temperatur asılılığı və dielektrik nüfüzlülüğunun həqiqi və xəyali hissələrinin bir-birindən aslılıqlarından alınan kol-kol diaqramları vasitəsi ilə təsvir olunmuşdur.



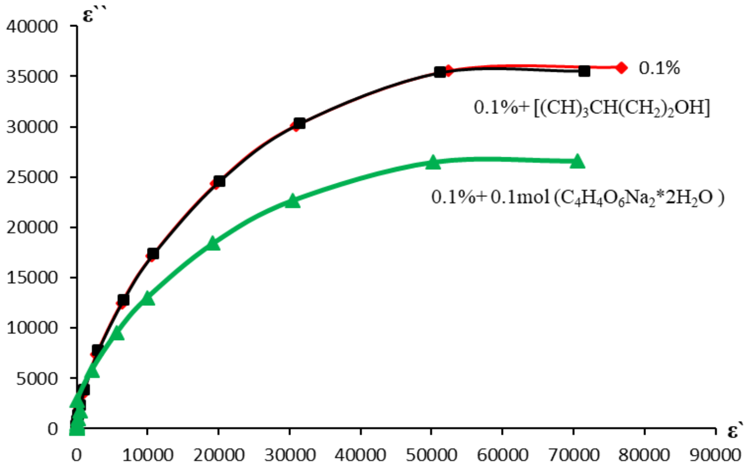
Şəkil 5. 25 °C temperaturda müxtəlif konsentrasiyalarda aqarozanın suda məhlullarının Debay diaqramları.

Qrafiklərin analizindən görünür ki, 0,1 %-li məhlul üçün dielektrik dispersiyası təxminən 20 *Hs* tezlikdə baş verir. 0,3 % ə 1 %-li məhlullar üçün isə yalnız onu deyə bilərik ki, dielektrik nüfuzluğunun relaksasiyası daha aşağı tezliklərdə baş verir, onun qiymətini isə dəqiq tutmaq olmur, çünki cihazın tezlik diapazonundan (20Hs – 1MHs) kənara çıxır.

Müşahidə olunan relaksasiyalar, bizim fikrimizcə, elektrodlar yaxınlığında yaranan ikiqat laydakı yüklü assosiatların (iri ölçülü ionların) hərəkəti ilə bağlıdır. 0,3 % və 1 %-li məhlullar gel halında olduğundan yüklü assosiatların dəyişən elektrik sahəsindəki rəqsi daha aşağı tezliklərdə "donur", çünki gelin özlülüyü, fəza torunun mövcud olması nəticəsində çox böyük olur.

0,1 %-li məhlul (zol) halında sferik yaxınlaşmada bu assosiatların ölçüsünü (1) düsturunun köməyi ilə qiymətləndirmək olar:

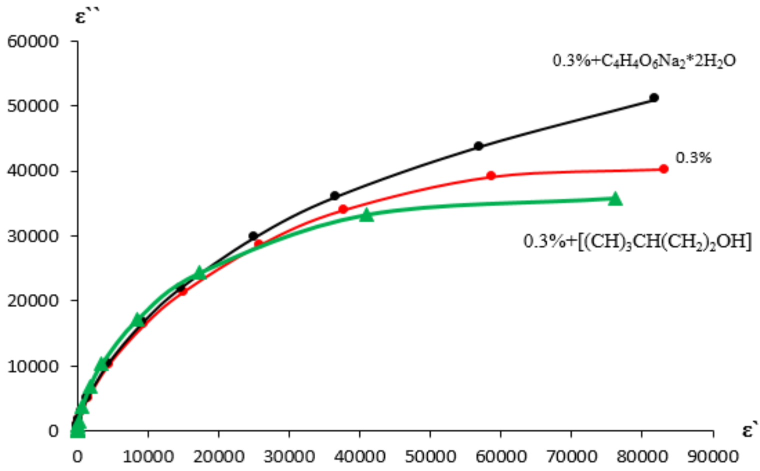
$$\tau = \frac{4\pi\eta R^3}{kT} \qquad (1)$$



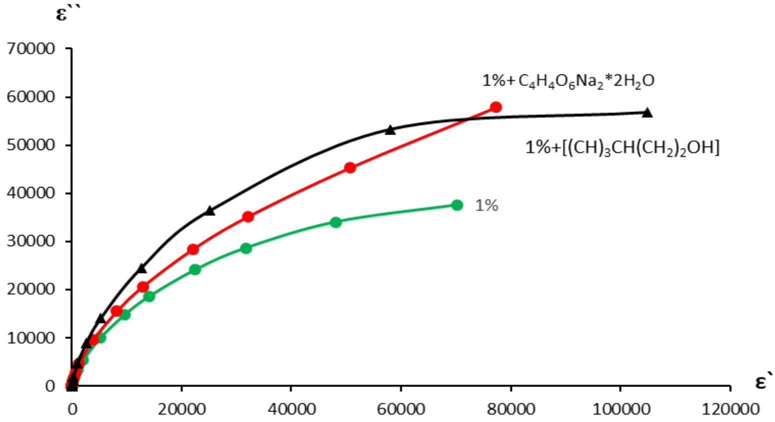
Şəkil 6. Aqarozanın suda 0,1 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil spirti) və hidrofil əlavələr çaxır turşusunun Na duzu ($C_4H_4O_6Na_2*2H_2O$) olunduğu halda Debay diaqramı

Şəkil 6-dən göründüyü kimi, gelin yarana bilmədiyi 0,1 %-li məhlulda hidrofob əlavələr ε'(ε") asılılığında, demək olar ki, dəyişiklik yaratmır. Bu o deməkdir ki, məhlulun zol halında hidrofob əlavə assosiatlaşmada əhəmiyyətli dəyişiklik yaratmır. Hidrofil əlavə isə dispersiya tezliyini bir qədər azaldır, yəni relaksasiya müddətini artırır.

Aqarozanın suda məhlulunda gelin əmələ gəldiyi konsentrasiyalarda (0,3 % və 1 %) nəticələr bir qədər fərqli alınır. Şəkil 7 və 8 qrafiklərinin təhlilindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, hər iki konsentrasiyada hidrofob əlavə gelin dielektrik dispersiyasına, və deməli, yüklü assosiatların ölçüsünə təsir etmir və ya zəif təsir edir. Hidrofil əlavənin isə dielektrik dispersiyasını aşağı tezliklər tərəfə sürüşdürdüyü qrafiklərdən aşkar şəkildə görünür.



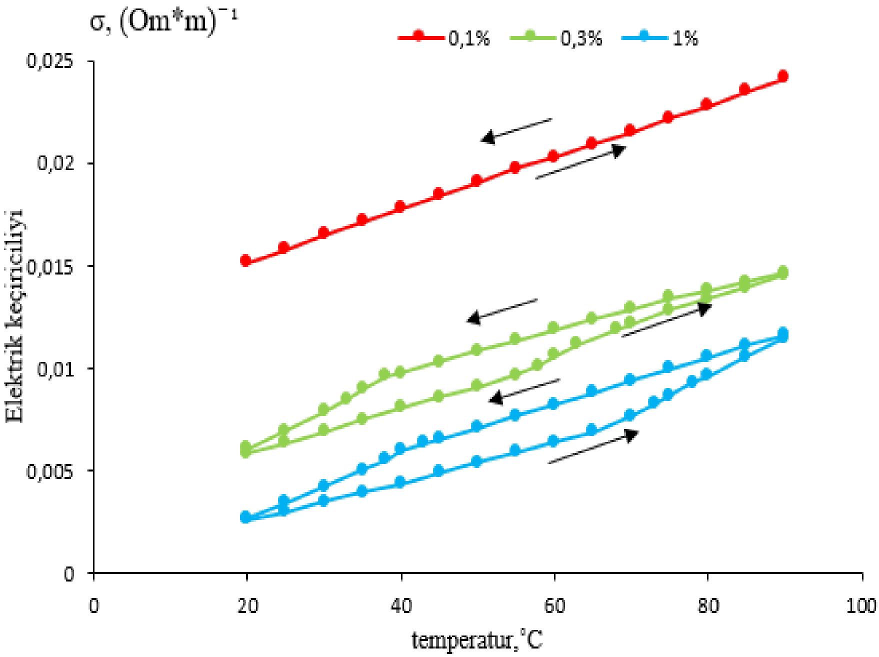
Şəkil 7. Aqarozanın suda 0,3 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil spirti) və hidrofil əlavələr çaxır turşusunun Na duzu ($C_4H_4O_6Na_2*2H_2O$) olunduğu halda Debay diaqramı.



Şəkil 8. Aqarozanın suda 1 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil) və hidrofil əlavələr çaxır turşusunun Na duzu ($C_4H_4O_6Na_2*2H_2O$) olunduğu halda Debay diaqramı.

Polimer gellərində elektrik keçiriciliyinin tədqiqi onların strukturu haqqında müəyyən informasiya daşıyır. Bundan əlavə, faza keçidləri ətrafında elektrik keçiriciliyi ciddi dəyişikliyə məruz qaldığından, elektrik keçiriciliyinin ölçülməsi faza keçidi nöqtələrini də müəyyən dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir.

Aqaroza gelinin keçiriciliyinin aqarozanın konsentrasiyasından, temperaturdan, həmçinin hidrofil və hidrofob əlavələrin bu asılılıqlara təsiri öyrənilmişdir. Hidrofob əlavə olaraq 1 çəki %-i miqdarında izoamil spirti ($(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$), hidrofil əlavə olaraq çaxır turşusunun Na duzundan ($C_4H_4O_6Na_2*2H_2O$) istifadə olunmuşdur.



Şəkil 9. Müxtəlif konsentrasiyalarda aqaroza gelinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı

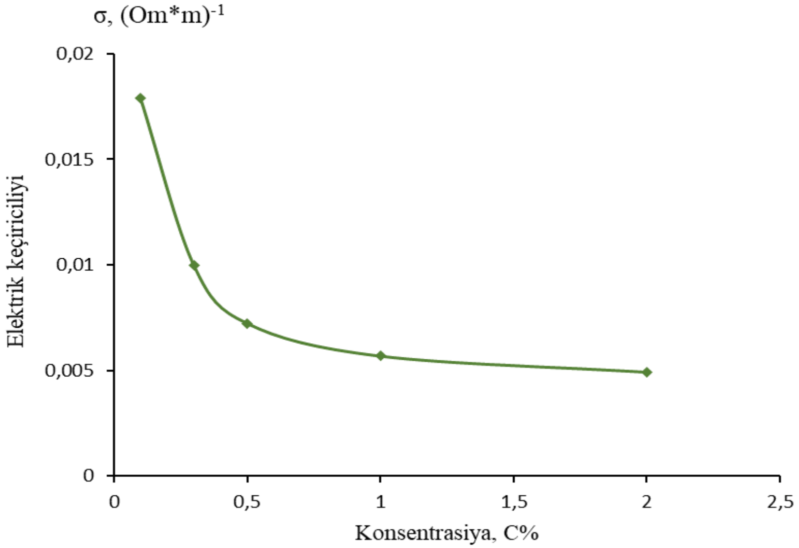
Şəkil 9-da müxtəlif konsentrasiyalarda aqaroza gelinin elektrik keçiriciliyinin həm qızma, həm də soyuma rejimində

temperatur asılılıqları verilmişdir. 0.1 %-li aqaroza məhlulu gel yaratmadığı üçün asılılıq heç bir histerezis verməmişdir.

Aqaroza hidrogeli termik dönən gel olsa da, onun fiziki xassələrində güclü termal histerezis müşahidə olunur. Yəni qızma və soyuma zamanı geli xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlərin (işıqburaxma, axma gərginliyi, elektrik keçiriciliyiliyi və s.) eyni bir temperaturdakı qimətləri üst-üsə düşmür. Bu deyilənlərin təsdiqini 0,3 %-li və 1 %-li məhlullarda (Şəkil 9-də 2 və 3 əyriləri) göstərmək olar. Bu əyiləri aşağıdakı kimi xarakterizə emək olar. Geli otaq tempera¬turundan başlayaraq qızdırdıqda onun elektrik keçiriciliyi artır (Şəkil 9). Müəyyən bir temperaturda (60 -75 ^{o}C) bu artım bir qədər sıçrayışla baş verir. Aydındır ki, bu gelin fəza torunun dağılması ilə bağlıdır. Bu temperatur gelin ərimə temperaturu və ya gel-zol faza keçidi temperaturu (Tə) adlanır. Alınan məhlulu (zol) 90 - 95 ^{o}C-dən başlayaraq soyutduqda keçiricilik azalır, lakin əyri yuxarıdan keçir, çünki fəza toru onun dağıldığı temperaturda bərpa olunmur. Fəza torunun bərpası çox-çox aşağı temperaturlarda (30 - 40 ^{o}C - də) baş verir ki , bu yenə də keçiriciliyin azalmasında zəif bir sıçrayışla müşaiyət olunur. Bu sıçrayış zol-gel faza keçidi ilə bağlıdır və buna uyğun gələn temperatur geləmələgəlmə temperaturu adlanır (T_g).

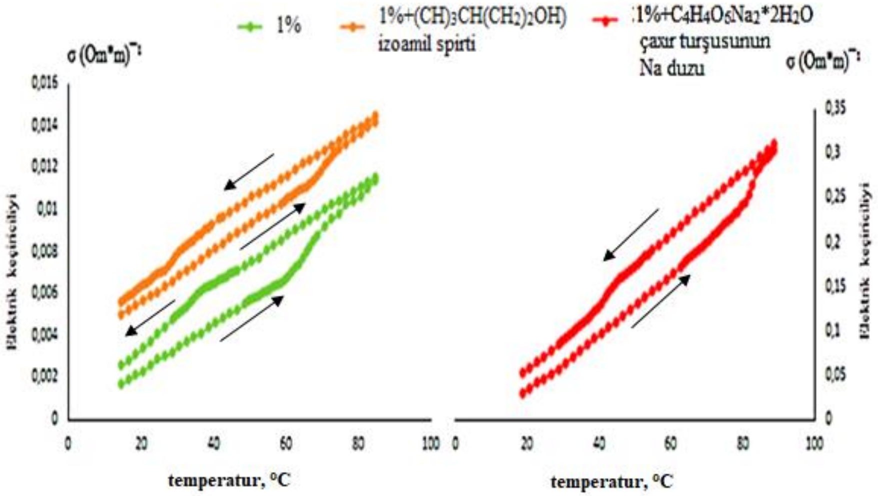
Beləliklə, 2 və 3 əyrilərinə əsasən geləmələgəlmə temperaturu 0.3 % -li zəif aqaroza geli üçün T_g =35˚C, 1 %-li güclü gel üçün isə T_g =40˚C-dir. Ərimə temperaturu isə 0.3 %-li gel üçün $T_ə$=65˚C, 1 % gel üçün isə $T_ə$ =75˚C-dir.

Şəkil 10-da 25 ^{o}C temperaturda aqaroza məhlulunun elektrik keçiriciliyinin aqarozanın konsentrasiyasından asılılığı göstərilmişdir. Gözlənildiyi kimi, konsentrasiyanın artması ilə keçiricilik azalır. Bunun əsas səbəbi polimerin konsentrasiyası artdıqca məhlulun özlülüyünün artması nəticəsində ionların yürüklüyünün azalmasıdır. Digər səbəbi isə məhlul gel halında olduqda konsentrasiya artdıqca fəza torunun özəklərinin kiçilməsi nəticəsində ionların yürüklüyünün azalmasıdır.



Şəkil 10. Aqaroza gelinin elektrik keçiriciliyinin aqarozanın konsentrasiyasından asılılığı

Şəkil 11- də 1 %-li aqaroza gelinin, həmçinin hidrofob və hidrofil təbiətli əlavələr edilmiş 1 %-li gelin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, hər iki halda gelin keçiriciliyi artır. Hidrofob əlavə keçiriciliyi 2 – 3 dəfə artırdığı halda, hidrofil əlavə keçiriciliyi azı bir tərtib artırır. Bundan əlavə, hidrofob və hidrofil əlavələr gelin ərimə və geləmələgəlmə temperaturunu əks tərəflərə sürüşdürür. Məsələn, 1 %-li aqaroza gelinə 1 % miqdarında izoamil turşusu (hidrofob) əlavə etdikdə geləmələgəlmə temperaturu 40 ^oC-dən 36 ^oC-yə, gelin ərimə temperaturunu isə 75 ^oC-dən 73 ^oC-yə düşür, yəni hidrofob əlavə geli zəiflədir. 1 %-li aqaroza gelinə 1 % miqdarında çaxır turşusunun Na duzunu əlavə etdikdə geləmələgəlmə temperaturu 40 ^oC-dən 45 ^oC-yə, gelin ərimə temperaturunu isə 75 ^oC-dən 82 ^oC-yə qədər yüksəlir, yəni hidrofil əlavə geli möhkəmləndirir.



Şəkil 11. Aqaroza gelinə hidrofob və hidrofil təbiətli əlavələrin təsirinin elektrik keçiriciliyinə təsiri

NƏTİCƏLƏR

1. Viskozimetrik ölçmələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, aqarozanın suda duru məhlullarının xarakteristik özlülüyü ([η]) və Haqqins sabitinin (k`) temperatur asılılığında müxtəlif əlavələrin təsiri ilə müşahidə olunan ekstremumlar temperaturun müxtəlif qiymətlərinə uyğun gəlir. Maksimuma (və ya minimuma) uyğun gələn bu temperaturlar statistik yumaq konformasiya halından sərt çubuq konformasiya halına keçid temperaturu hesab olunur.
2. Reoloji metodlarla göstərilmişdir ki, geldə aqarozanın konsentrasiyasının artması axma gərginliyinin və ən kiçik Nyuton özlülüyünün artmasına səbəb olur. Axma gərginliyinin qiymətini KCl duzu, özlülüyü isə $CaCl_2$ duzu nəzərəçarpacaq dərəcədə artırmışdır.
3. Aqaroza gelinin bulanıqlıq spektrləri əsasında tədqiq olunan termal histerezis xassələri onu deməyə əsas verir ki, histerezisin dərəcəsi, yəni gelin ərimə və geləmələgəlmə temperaturları

arasındakı fərq aqarozanın konsentrasiyası artdıqca artır. Eyni zamanda göstərilmişdir ki, hidrofob təbiətli duzlar geləmələgəlmə və ərimə temperaturlarını yuxarıya doğru, hidrofil təbiətli duzlar isə əksinə, geləmələgəlmə və ərimə temperaturlarını aşağıya doğru sürüşdürür.

4. Aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası metodunun köməyi ilə müəyyən edilmişdir ki, hidrofob təbiətli əlavələr aqaroza gelinin dielektrik relaksasiyasını zəif dəyişdirir, hidrofil təbiətli əlavələr isə aşağı tezliklər tərəfə sürüşdürür. Buna səbəb məhlulun özlülüyündə baş verən dəyişikliklərdir.
5. İşığın dinamik səpilməsi metodu ilə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, aqarozanın konsentrasiyasının artması ilə assosiatların ölçüsü artır və gelin fəza torundakı məsamələrin ölçüsü kiçilir. Bu səbəbdən kiçik ölçülü hissə ciklərin bir məsamədən digərinə nüfuz etməsi çətinləşir və diffuziya əmsalı azalır. Hidrofil təbiətli əlavələr assosiatların ölçüsünü kəskin böyüdür, hidrofob təbiətli əlavələr isə əksinə, assosiatları bir qədər kiçildir. Bundan əlavə, hidrofil təbiətli əlavələr geldəki sərbəst bispiralları yox edir.
6. Konduktimetrik ölçmələr onu göstərir ki, aqaroza - su sistemində keçiricilik suyun dissosiasiyayası nəticəsində alınmış H^+ və OH^- ionları və aqaroza biopolimerinin tam təmizlənməməsi ilə bağlı müəyyən yüklü radikalların hesabına yaranır. Hidrofob təbiətli əlavələr keçiriciliyi 2 – 3 dəfə, hidrofil təbiətli əlavələr isə keçiriciliyi azı bir tərtib artırır. Keçiriciliyin temperatur asılılığında müşahidə olunan termal histerezis də göstərir ki, hidrofob və hidrofil təbiətli əlavələr gelin ərimə və geləmələgəlmə temperaturlarını əks tərəflərə sürüşdürür.

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə dərc olunmuş elmi işlər:

1. Məsimov, E.Ə.,İmaməliyev, A.R., Əmrahova, A.H. “Maddənin gel halının bəzi xüsusiyyətləri” // Fizikanın Müasir Problemləri VII Respublika Konfra nsı, “Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası” – Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 20-21 dekabr, – 2013, – s.192-196.

2. Əmrahova, A.H. “Aqar məhlulunda geləmələgəlmə proseslərinin öyrənilməsi” // Magistrantların Və Gənc Tədqiqatçıların “Fizika Və Astronomiya Problemləri” Respublika Elmi Konfransı, – Bakı: Müəllim nəşriyyatı, 22 may, –2014, –s.96.
3. Əmrahova, A.H., İmaməliyev, A.R., Prudko, V.V. “Polimerlərin şişmə mexanizmi” //Fizikanın Müasir Problemləri VIII Respublika Konfransı, “Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası” – Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 24-25 dekabr, – 2014, – s.215-217.
4. Məsimov, E.Ə., İmaməliyev, A.R., Əmrahova, A.H. “Aqar məhlulunda geləmələgəlmə proseslərinin spektrofotometrik metodla öyrənilməsi” // Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, – Bakı: Qafqaz Universiteti nəşriyyatı,18- 19 Aprel, – 2014, – s-62.
5. İmaməliyev, A.R., Əmrahova, A.H. “Aqaroza məhlulunda geləmələgəlmə prosesinin işığın dinamik səpilməsi metodu ilə tədqiqi” // Fizikanın Müasir Problemləri VIII Respublika Konfransı, “Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası, – Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 25-26 dekabr, – 2015, – s.262 - 263.
6. Məsimov, E.Ə., İmaməliyev, A.R., Əmrahova, A.H., Prudko, V.V. “Aqarozanın sulu məhlulunda geləmələgəlmə prosesinin spektrofotometrik metodla tədqiqi” // Müasir Təbiət Və İqtisad Elmlərinin Aktual Problemləri Beynəlxalq Elmi Konfransı, – Gəncə: 04-05 may, –2018, –s.182-184.
7. Asadova, A.H., Masimov, E.A. “The determination of intrinsic viscosity by viscometer”//Academician G.B.Abdullayev Centenary İnternational Conference and School Modern Trends in Condensed Matter Physics , – Bakı: 24-26 sentyabr , –2018, –s.49
8. Asadova, A.H. “Reological investigations of representative solvents of agarose” / A.H. Asadova, V.V. Prudko, E.Ə. Məsimov //Journal of Baku Engineering University, –2018, v.2, – p.111- 114.

9. Əsədova, A.H. “Aqarozanin sulu məhlullarinin reoloji xasələri ”/A.H.Əsədova, E.Ə.Məsimov // Baki Universitetinin Xəbərləri Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, -2018, №4, –s.163-166.
10. Məsimov, E.Ə., Asadova, A.H., Bağırova, S.B., Prudko, V.V. “The temperature dependence of intirinsic viscosity of agarose`s liquid solutions”// İnternational Conference Modern Trends in Physics, – Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 01-03 may, – 2019, – p.133-134.
11. Масимов, Э.А., Асадова, А.Г., Прудко, В.В., Шахвердиев, Я.Х. “Температурная Зависимость Характеристической вязкости водных растворов агарозы”// XII Всероссийская Школа-Конференция Молодых Ученых Теоретическая И Экспериментальная Химия Жидкофазных Систем, Иваново: 7-11 октября – 2019, – с.74 -75.
12. Asadova, A.H. “Spectrophotometric investigation of gel formation in water solution of ağar”/ A.H.Asadova, E.A.Masimov, A.R.İmaməliyev //Modern Physics Letter B – 2020, v.34, – p. 1-7.
13. Əsədova, A.H. “ Aqarozanın suda məhlullarının özlü axınının aktivləşmə parametrlərinin temperaturdan asılılığı” // Baki Universitetinin Xəbərləri Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2020, №4, – s.84-89.
14. Asadova, A.H., “The solution-gel phase transition in aqueous solutions of agarose”/ A.H.Asadova, E.A.Masimov // Modern Physics Letters B – 2021, v. 35, – p. 2150147-1- 2150147- 7.
15. Əsədova, A.H. “Aqaroza gelinin dielektrik xassələrinə hidrofob və hidrofil əlavələrin təsirinin tədqiqi”// Azerbaijan Journal of Physics, – 2022, v.28, – s. 23-27.
16. Asadova, A.H. “ Hydrophilic additives on the dielectric properties of agarose gel” // Silk Road International Scientific Research Conference, – Baku: December 8-9, –2022, –s.360.
17. Асадова, А.Г. “Исследование светопропускания водного раствора агарозы" / II Международная Научная Конференция «Современные Тенденции Развития Физики Полупроводников: Достижения, Проблемы И

Перспективы, – Ташкент: 27-28 декабрь, – 2022 , – с.368-369.
18. Masimov, E.A. Effect of some alkaline salts on the reological properties of agarose gel / E.A.Masimov, A.H.Asadova, A. R. Imamalıyev // Journal of Baku Engineering University, – 2022, v.6, – p. 58-66.
19. Masimov, E.A. Aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə müxtəlif qeyri-üzvi duzların təsirinin optik metodla öyrənilməsi / E.A.Masimov, A.R.İmaməliyev, A.H.Asadova // Azerbaijan Journal of Physics – 2023, v.29, – s. 3-5.
20. Masimov, E.A. Study of sol-gel phase transition in the agarosewater system by electrical conductivity /E.A.Masimov, A.R.Imamaliyev, A.H.Asadova // Journal of Baku Engineering University – 2023, v.7, –p. 34-39.
21. Imamaliyev, A.R., Asadova, A.H., Rahimov, R.Sh. Study of agarose gel structure by dynamic light scattering method // Conference, Actual problems of Physics, Azerbaijan Journal of Physics – 2023, –p.19-23.

Dissertasiyanın müdafiəsi 27 sentyabr 2024-cü il tarixində saat 15^{00}-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç.23, Bakı Dövlət Universiteti, Əsas bina

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 28 iyun 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 22.06.2024
Kağızın formatı: A5
Həcm: 37336
Tiraj: 100