

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**POLİOLEFİNLER VƏ ELASTOPLASTLAR ƏSASINDA  
ELEKTRİKKEÇİRİCİ VƏ YÜKSƏK FİZİKİ-MEXANİKİ  
XASSƏLƏRƏ MALİK DİNAMİKİ VULKANLAŞMIŞ  
NANOKOMPOZİTLƏRİN MEXANİKİ-KİMYƏVİ  
SİNTEZİNİN ELMİ ƏSASLARI**

Ixtisas: 2318.01 – Kompozit materialların kimyası və  
texnologiyası

Elm sahəsi: **Kimya**

İddiaçı: **Xəyalə Vaqif qızı Allahverdiyeva**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş  
dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**SUMQAYIT – 2023**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Polimer Materialları İnstitutunun “Polimerlərin mexaniki-kimyəvi modifikasiyası və emalı” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: Kimya elmləri doktoru, professor  
**Nəcəf Tofiq oğlu Qəhrəmanov**

Rəsmi oponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü,  
kimya elmləri doktoru, professor  
**Abel Məmmədəli oğlu Məhərrəmov**  
AMEA-nın müxbir üzvü,  
kimya elmləri doktoru, professor  
**İslam İsrəfil oğlu Mustafayev**  
AMEA-nın müxbir üzvü,  
kimya elmləri doktoru, professor  
**Məhəmməd Baba oğlu Babanlı**  
AMEA-nın müxbir üzvü,  
kimya elmləri doktoru, professor  
**Tofiq Abbasəli oğlu Əliyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Polimer Materialları İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.28 Dissertasiya Şurasının bazasında qeydiyyat nömrəsi BED 1.28 Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,  
kimya elmləri doktoru, professor  
**Bəxtiyar Əjdər oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Kimya üzrə fəlsəfə doktoru  
**Fatimə Əlimirzə qızı Mustafayeva**

Elmi seminarın sədri: Kimya elmləri doktoru, dosent  
**Nüşabə İsmayıl qızı Qurbanova**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Son 10 ildə dünyada aparılan tədqiqatların təhlili göstərir ki, nanodoldurucuların polimer nanokompozitlərin quruluş və keyfiyyət xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə töhfə verir<sup>1</sup>. Bu baxımdan, lazımı xassələr toplusuna malik nanokompozitlərin yaradılmasına yönəlmiş elmi tədqiqatlar daha çox maraq doğurur. Nanohissəciklərin istifadəsi tədqiqatçılara konkret tətbiqlər üçün konstruksiya təyinatlı materialların hazırlanması ilə bağlı proseslərə bir qədər yeni nəzər salmağa imkan verdi<sup>2</sup>. Nanodoldurucuların istifadə edilməsinə yaranan maraq onunla əlaqədardır ki, nanohissəciklər inkişaf etmiş səthə malikdirlər və ərintidə polimerin qlobulyar quruluşu ilə müqayisə oluna bilirlər ki, bunun da nəticəsində termiki davamlı heterogen “törəməmələgətirmə mərkəzlərini” əldə etmək üçün unikal imkan yaranır<sup>3</sup>. Poliolfenlər (PO) bütün məlum üsullarla asanlıqla emal olunan unikal və nisbətən yüksək fiziki-mexaniki xassələri ilə seçilən iritonnajlı polimerlərdir. Əlvan və qara metallardan hazırlanmış məmulatların polimer kompoziti ilə əvəz edilməsi üçün onların quruluş və xassələrinin müxtəlif üsullarla modifikasiyası nəticəsində, konstruksiya materialların alınmasını proqnozlaşdırıla bilən perspektivli imkanların açılmasına gətirib çıxarır. Təqdim edilən dissertasiya işində diqqət geniş çeşidli PO əsasında çoxfunksiyalı elektrikkeçirici və eyni zamanda yüksək fiziki-mexaniki

---

<sup>1</sup> Al-Sheheria, S.Z. The preparation of carbon nanofillers and their role on the performance of variable polymer nanocomposites / S.Z. Al-Sheheria, Z.M. Al-Amshanya, Q.A. Al Sulamia [et al.] // *Designed monomers and polymers*, –London: – 2019. Vol. 22, № 1, – p. 8-53.

<sup>2</sup> Müller, K. Review on the Processing and Properties of Polymer Nanocomposites and Nanocoatings and Their Applications in the Packaging. Automotive and Solar Energy Fields /K. Müller, E. Bugnicourt, M. Latorre [et al.] // *Nanomaterials*. – Basel: – 2017. Vol 7, Issue 4, – p. 74.

<sup>3</sup> Wang, X. The Study of Crystallization Behavior, Microcellular Structure and Thermal Properties of Glass-Fiber/Polycarbonate Composites/ X. Wang, Y. Sun, J. Hu [et al.] // *Polymers*, – Basel: – 2023. Vol 15, – p. 1546.

xassələrə malik polimer materialların hazırlanmasına yönəldilmişdir. Tamamilə aydındır ki, işlənib hazırlanmış materiallar bir sıra faydalı xüsusiyyətləri ilə fərqlənməlidir ki, bu da onların elektron sənayesinin müxtəlif sahəsində istifadəsinə geniş imkanlar yaradacaqdır. Tədqiqat nəticələrinin göstərdiyi kimi, elektrikkeçiricilikdən savayı, polimer materialların emal olunma qabiliyyətini təmin etmək üçün müxtəlif texnoloji əlavələrdən istifadə etməklə ərintinin lazımı axıcılığını saxlanmaq mümkün olur. Elektrikkeçirici polimer nanokompozitlərin metal səthə bərkidilməsi üçün istifadə oluna biləcəyini nəzərə alaraq, onların adgeziya möhkəmliyini artırmaq zərurəti yaranmışdır. Keçiricinin və ya yarımkəçiricinin uzun müddətli istifadəsi zamanı qızmasının qarşısını almaq üçün onlar yaxşı istilik keçiriciliyinə malik olmalıdır. Başqa sözlə desək, elektrikkeçirici polimer kompozit çoxfunksiyalı xüsusiyyətlərə malik olmalıdır ki, bunun da bir materialda həyata keçirilməsi çətin məsələdir və eyni zamanda kifayət qədər maraqlı və mühüm elmi-texniki problemdir.

Ədəbiyyatda polimer materialların elektrofiziki xüsusiyyətlərini qiymətləndirərkən, əsasən elektrikkeçiricilik prosesinin mexanizmi və onların xassələrinin təhlilinin nəticələri haqqında alimlərin qeyri-müəyyən fikirləri vardır<sup>4,5</sup>.

Bir sıra hallarda elektrikkeçirici polimer materialların işlənib hazırlanmasına dair əsas nəzəri yanaşmaların şərhi zamanı ziddiyyətli məlumatlar da verilir ki, bu da tədqiqatların nəticələrinin vahid bütöv nəzəriyyəsinin qurulmasına imkan vermir<sup>6</sup>. Bu hal onunla izah olunur ki, bir çox alimlər, polimer kompozitin yaradılması və elektrikkeçiriciliyinə dair tədqiqat nəticələrinin qiymətləndirilməsi

---

<sup>4</sup> Борукаев Т.А., Физико-механические свойства композитов на основе полиэтилена высокой плотности и технического углерода / Т.А.Борукаев, Д. С. Гаев // Прикладная физика, – Москва: –2017. №5, –с.76-81.

<sup>5</sup> Kim, J. Conductive polymers for nextgeneration energy storage systems: Recent progress and new functions / J. Kim, J. Lee, J. You [et al.] // Materials Horizons, – Cambs: – 2016. Vol. 3, – p. 517–535.

<sup>6</sup> Cheng, X. Soft surface electrode based on PDMS-CB conductive polymer for electrocardiogram recordings / X.Cheng, C. Bao, X. Wang [et al.] // Applied Physics A, – Germany: – 2019. Vol. 125, – p. 876.

zamanı, onların xassələri ilə birlikdə quruluş xüsusiyyətlərini dərindən öyrənilməsinə lazımi diqqət verməmişlər.

Təəssüflə qeyd etmək lazımdır ki, polimer matrisin elektrikkeçiriciliyini və ümumiyyətlə hazırlanmış kompozitin keyfiyyətini əvvəlcədən təyin edən quruluş xüsusiyyətlərini qiymətləndirmək üçün bu günə kimi etibarlı meyarlar yoxdur. Doldurucunun növündən və miqdarından asılı olaraq yalnız ilkin polimer matrisin və nanokompozitlərin seqreqasiyalı quruluşunun və xassələrinin hərtərəfli təhlili, elektrikkeçiriciliyin zəncirvari mexanizmi haqqında daha dolğun anlayış əldə etməyə imkan verir. Nəhayət, bu göstəricinin dəyərini tənzimləməyə və əvvəlcədən müəyyən edilmiş quruluş və xüsusiyyətlərə malik konstruksiya materiallarını əldə etməyə yaxınlaşmaq mümkün görünür. Elektrikkeçirici nanokompozitlərin işlənilib hazırlanmasına, emalının texnoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə sistemli yanaşmanın olmaması onların elektron və elektrotexnika sənayesinin xüsusi sahələrində daha geniş tətbiqinə mane olan mühüm amillərdən birinə çevrilmişdir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı kimi poliolefinlər- yuxarı sıxlıqlı polietilen (YSPE), aşağı sıxlıqlı polietilen (ASPE), izotaktik polipropilen (PP), polipropilenin random birgə polimeri (RPP), etilen-propilen blok birgə polimeri (BEPB), etilen heksen-1 birgə polimeri (EHB), etilen buten-1 birgə polimeri (EBB); kompatibilizatorlar-maleinləşdirilmiş YSPE (PEMA) və maleinləşdirilmiş PP (PPMA), elastomerlər-butadien-stirol birgə polimeri (SKS-30) və etilen-propilen-dien birgə polimeri (EPDE-40), doldurucular- texniki nanokarbon, nanoqrafit, alüminium və mis tozu, emal məqsədi ilə kalsium və ya sink stearat, vulkanlaşdırıcı agent - dikumil peroksid və kükürd seçilmişdir. Dissertasiya işinin predmeti yuxarıda qeyd edilmiş PO-lar əsasında PEMA və PPMA ilə kompatibilizasiya edilmiş elektrikkeçirici nanokompozitlərin, həmçinin tərkibinə nanokarbon, nanoqrafit, alüminium və mis tozu nanohissəcikləri daxil edilmiş PO-lar və EPDE və ya SKS əsasında alınmış elastoplastların, dinamik vulkanlaşmış nanokompozitlərin kompleks şəkildə xassələrinin fiziki, fiziki-kimyəvi və fiziki-mexaniki

üsullarla tədqiqi və alınmış çoxfunksiyalı nanokompozitlərin emalı texnologiyası, təsnifatının və mümkün tətbiq sahələrinin müəyyən edilməsindən ibarətdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin məqsədi geniş çeşidli PO və elastoplastlar əsasında yüksək fiziki-mexaniki xassələrə və qənaətbəxş emal qabiliyyətinə malik müxtəlif növ çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin mexaniki-kimyəvi sintezinin elmi əsaslarının işlənilib hazırlanmasından ibarətdir. PO-nın polimer matris kimi istifadəsi mikro- və makro- quruluş səviyyəsində nanohissəciklərin və əlaqəli inqrediyentlərin elektrikkeçiriciliyin mexanizminin və nanokompozitlərin əsas fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin formalaşmasında rolunu müəyyən etməyə imkan verir. Qarışdırılan komponentlərin uyğunluğunu artırmaq və müvafiq olaraq nanokompozitlərin xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün PEMA və ya PPMA əsasında kompatibilizatorlardan istifadə edilmişdir. Çevik və elastikliyi ilə seçilən elektrikkeçirici nanokompozitləri əldə etmək məqsədi ilə polimer matris kimi elastoplastlardan da istifadə edilmişdir ki, bu da qarışdırma və dinamik vulkanlaşma prosesində rezin xassələrə malik konstruksiya materialların alınmasına imkan verir.

**Qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:**

- ✓ Nanokompozitlərin işlənilib hazırlanması, geniş çeşidli PO və elastoplastların mexaniki-kimyəvi modifikasiyası prosesində qarışdırmanın texnoloji aspektlərini öyrənmək və qarışıqdakı komponentlərin uyğunluğunu yaxşılaşdırmaq;
- ✓ Nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyə və kompleks şəkildə mühüm fiziki-mexaniki xassələrinə bir sıra doldurucuların ayrılıqda və birgə təsirinin öyrənilməsi;
- ✓ Doldurucunun növündən, geniş çeşidli PO-nın, elastoplastların seqreqasiyalı quruluşunun xüsusiyyətlərindən və kristalliklik dərəcəsiindən asılı olaraq, nanokompozitlərdə elektrikkeçirici zəncirlərin əmələ gəlmə mexanizminin elmi əsaslarının işlənilib hazırlanması;

- ✓ Geniş temperatur diapazonunda (170-230°C) və yerdəyişmə gərginliyində nanokompozitlərin reoloji xassələrini tədqiq etmək; yerdəyişmə sürətinin yerdəyişmə gərginliyindən asılılığını öyrənmək; özlülüyün yerdəyişmə gərginliyindən və temperaturdan asılılığını, özlü axmanın aktivləşmə enerjisini və doldurucuların müxtəlif miqdarlarında özlülük xassələrinin temperatur-invariant xarakteristikasına təsirini müəyyən etmək;
- ✓ Pilləli dilatometriya üsulu ilə müxtəlif növ PO əsasında alınan nanokompozitlərdə doldurucuların tipinin və miqdarının birinci və ikinci növ faza keçidinə təsirini, sərbəst xüsusi həcmnin temperaturdan asılılığını, kristallaşma prosesi zamanı kristalların boy atma mexanizmini öyrənmək;
- ✓ Polimer matrisinin və doldurucunun növündən, miqdarından asılı olaraq elektrikkeçirici nanokompozitlərin müxtəlif metalların səthinə qarşı adgeziya gücünün təsirini araşdırmaq;
- ✓ Nanokompozitlərin termiki deformasiya tədqiqatlarının aparılması ilə əlaqədar, polimer matrisin, doldurucunun və vulkanlaşdırıcı agentin növündən asılı olaraq kristallik, yüksək elastikli, şüşəvari və özlü-axıcı hallarının temperatur sahələrini müəyyən etmək;
- ✓ Müxtəlif elastikliyə malik elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınması üçün nanokompozitlərin dinamik vulkanlaşmasının mexanizmini tədqiq etmək;
- ✓ PO və elastomerlər əsasında elektrikkeçirici nanokompozitlərin mexaniki-kimyəvi modifikasiyası, tədqiqi və dinamik vulkanlaşmasının elmi əsaslarını işləyib hazırlamaq;
- ✓ Elektrikkeçirici nanokompozitlərin ekstruziya və təzyiq altında tökmə üsulu ilə emalının texnoloji xüsusiyyətlərini öyrənmək;
- ✓ Elektrikkeçirici nanokompozitlərin tərkibindən asılı olaraq müxtəlif praktiki istifadə sahələrini proqnozlaşdırmaq üçün onların təsnifatını aparmaq.

**Tədqiqat metodları.** Dissertasiya işində aparılmış elmi tədqiqatların doğruluğunu təsdiqləmək məqsədilə aşağıdakı müasir metodlardan istifadə olunmuşdur: infraqırmızı spektroskopiya, derivatoqrafik analiz, skanedic elektron mikroskopiya, elektron

mikroskopiya, rentgen-faza analizi, Vikaya əsasən istiliyə davamlılıq, termomexanika (Kanavets), reologiya, pilləli dilatometriya, dağıdıcı gərginlik, nisbi uzanma, əyilmədə möhkəmlilik həddi, istilik keçiricilik, sürtünməyə davamlılıq, elektrikkeçiricilik, qopmaya qarşı müqavimət (adgeziya).

### **Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- Geniş çeşidli PO və elastoplastlar əsasında alınan seqreqasiya quruluşlu nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyin formalaşma mexanizminə doldurucunun növünün və miqdarının təsiri ilə bağlı tədqiqatın nəticələri;
- Doldurucunun və polimer matrisin növündən asılı olaraq PO əsasında nanokompozitlərin sistemli şəkildə fiziki-mexaniki xassələrinin öyrənilməsinin nəticələri və quruluş-xassə əlaqəsinin formalaşmasına dair yeni elmi yanaşmalar;
- Geniş çeşidli PO və elastoplastlar əsasında elektrikkeçirici nanokompozitlərdə kristallaşma prosesinin kinetik qanunauyğunluqlarının və kristalların boy atma mexanizmi, çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin işlənib hazırlanması, alınması və tədqiqinin nəzəri prinsipləri;
- PO-nun və elastoplastların dinamik vulkanlaşması prosesində alınan elektrikkeçirici nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələrinin tədqiqinin nəticələri və müzakirəsi;
- Nanokompozitlərin ekstruziya və təzyiqləndirmə üsulları ilə emalının monotrem texnologiyasının eksperimental tədqiqindən əldə olunan məlumatlar, onların müzakirəsi və elmi müddəaları;
- Praktiki istifadə sahələrini proqnozlaşdırmaq məqsədi ilə işlənib hazırlanmış elektrikkeçirici nanokompozitlərin çoxfunksiyalı təsnifatı.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.** Dissertasiya işini yerinə yetirən zamanı ilk dəfə olaraq:

- Geniş çeşidli PO və elastoplastlar əsasında çoxfunksiyalı seqreqasiyalı quruluşlu nanokompozitlərin alınması, sistemli şəkildə elektrikkeçiricilik, fiziki-mexaniki və istilik-fiziki xassələrinə texniki karbon (TK), qrafit (Qr)



nanohissəciklərinin, kompatibilizatorun, alüminium və misin ayrılıqda və birgə təsiri tədqiq edilmişdir;

- Geniş çeşidli PO və elastoplastlar əsasında polimer matrisdə, İQ-spektoskopiya, RFA, DTA, elektrikkeçiricilik, elektron mikroskopiyası, SEM analizi, pilləli dilatometriya, termomexanika, reologiya və kompleks fiziki-mexaniki analizlərinin nəticələrinə əsasən fazalar arası sahədə nanohissəciklərin iştirakı ilə elektrikkeçirici zəncirvari quruluşun formalaşma mexanizmi öyrənilmiş, nəzəri müddəalar və eksperimental nəticələr verilmişdir. Göstərilmişdir ki, polimer matrisin kristallıqlıq dərəcəsi artdıqca, nanokompozitlərdə maksimal elektrikkeçiricilik əldə etmək üçün bir o qədər az miqdarda nanohissəciklər tələb olunur;
- Nanokompozitlərin reoloji xassələri temperaturdan, tətbiq olunan yükədən və istifadə olunan komponentlərin tərkibindən asılı olaraq öyrənilmiş və real emal şəraitinə uyğun temperatur rejiminin proqnozlaşdırılması üçün nanokompozitlərin özlülük xassələrinin temperatur-invariant xarakteristikası haqqında qrafik məlumatlar əldə olunmuşdur;
- İşlənib hazırlanmış çoxfunksiyalı nanokompozitlərin alüminium və mis folqa səthindən qopma müqavimətinin qiymətləri müəyyən edilmişdir;
- Kolmaqorov-Avrami tənliyinə əsasən TK və qrafitin miqdarından asılı olaraq seqreqasiyalı quruluşlu elektrikkeçirici nanokompozitlərin kristallaşma prosesinin kinetik təhlili aparılmış və kristalların növünün əmələ gəlmə mexanizmi müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, nanohissəciklərin miqdarı artdıqca, bir qayda olaraq, kristallaşma mərkəzlərinin davamlı formalaşması ilə yanaşı kristalların boy atma mexanizmində 3D ölçülü sferolitdən, 2D ölçülü disk şəkilli kristallik törəmələrin formalaşmasına doğru dəyişiklik baş verir;
- Seqreqasiyalı quruluşlu çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin və dinamik vulkanlaşmış

nanokompozitlərin alınması, tədqiqi və emalı prosesinin elmi əsasları işlənib hazırlanmışdır.

- PO və elastoplastlar əsasında nanokompozitlərin termomexaniki tədqiqatlarının nəticələrinə əsasən birinci növbə faza keçidinin temperatur bölgəsi və bir fiziki vəziyyətdən digərinə keçid zamanı deformasiya və fazaların inversiyasının dəyişməsinin xarakteri təhlil edilmişdir;
- PO əsasında çoxfunksiyalı və dinamiki vulkanlaşdırılmış nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələrinə temperatur rejiminin, təzyiqin və mexaniki-kimyəvi sintezin digər parametrlərinin təsiri reaksiyalı monotrem ekstruziya və təzyiq altında tökmə üsulu vasitəsilə tədqiq edilmişdir;
- Polimer matrisin növündən, istifadə olunan komponentlərin nisbətindən asılı olaraq işlənib hazırlanmış elektrikkeçirici nanokompozitlərin təsnifatı verilmiş və onların praktiki istifadəsinin daha çox üstünlük verilən sahələri göstərilmişdir.

### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.**

- Dissertasiya işində təqdim olunan yeni elmi yanaşmalar və nəticələr digər polimerlər və dolduruculardan istifadə olunmaqla alınan nanokompozitlərin quruluş və xassələrinin öyrənilməsi üçün zəruri nəzəri əsas kimi tədqiqatçılar, universitet professorları, doktorantlar, magistrantlar tərəfindən istifadə edilə bilər;

- Elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınması və tədqiqinin elmi əsasları, onların seqreqasiyalı quruluşu, xassələrinin nəzəri və təcrübi təhlilinin nəticələri, kompozisiya materiallarının kimyası və texnologiyası istiqamətində nəzəri və praktiki bilikləri və məlumatları zənginləşdirir və inkişaf etdirir;

- Eksperimental tədqiqatların nəticələri və çoxkomponentli elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınması istiqamətində aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələri və emalının tədqiqi üçün optimal şəraitin seçilməsinə sistemli elmi yanaşma, kompozit konstruksiya materialları əsasında ekstruziya və tökmə məmulatların istehsalı müəssisələrində çalışan mütəxəssislər üçün faydalı ola bilər;

- Elastoplastlar əsasında mexaniki-kimyəvi sintez prosesində alınan dinamiki vulkanlaşmış elektrikkeçirici nanokompozitlər bir tərəfdən ekoloji təmizliyi və yüksək möhkəmliyi, digər tərəfdən isə rezin üçün xarakterik olan çəvikliyi və elastikliyi ilə fərqlənir. Rezinlərdən fərqli olaraq, elastoplastların praktiki üstünlüyü həm də onların əsasında məmulatların istehsalında yüksək məhsuldarlığa malik tökmə aqreqlərində istifadə olunmasının mümkünlüyüdür;

- Hazırlanmış nanokompozitlər “METAK” MMC plastik məmulatlarının emalı zavodunda sənaye sınaqlarından keçmişdir. Müsbət sınaq aktları və laboratoriya rəqlamenti əlavələr bölməsində təqdim edilmişdir.

- Elektrikkeçiricilər, yarımkəçiricilər və antistatiklər kimi praktiki istifadə sahələrini proqnozlaşdırmaq üçün hazırlanmış çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin təsnifatı verilmişdir;

**Müəllifin şəxsi iştirakı.** Eksperimental tədqiqatların aparılmasında, əldə edilmiş nəticələrin təhlili və müzakirəsində, dissertasiya işinin strategiyasını həyata keçirilməsinin işlənilib hazırlanmasında və yazılmasında, məqalələrin nəşrində və beynəlxalq konfranslarda məruzə tezis materiallarının müzakirəsində müəllifin şəxsi iştirakı aparıcı rol oynamışdır.

**Dissertasiya işinin aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı beynəlxalq və respublika konfranslarında məruzə edilmişdir: AMEA-nın akademik Y.N. Məmmədəliyev adına Neft Kimya Prosesləri İnstitutunun 90 illik yubileyinə həsr edilmiş “Müasir kimyanın aktual problemləri” mövzusunda Beynəlxalq Elmi Konfrans (Bakı, 2-4 oktyabr 2019), “Kimya texnologiyası və mühəndisliyinin innovativ inkişafı perspektivləri” mövzusunda Beynəlxalq elmi konfrans (SDU, Sumqayıt, 28-29 noyabr 2019), International United Academy of Sciences, General question of world science, collection of scientific papers on materials, IX International Scientific Conference, (Luxembourg, 30 noyabr 2019); I Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans “Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: Təhsil, elm, texnologiya” ATU, (Bakı, 18-20 dekabr 2019); XVII

Международная конференция молодых ученых, НАН Беларуси, (Минск, 22-25 сентября 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные технологии и материалы», (Севастополь, 14-16 октября 2020 и 6-8 октября 2021); XV Международный симпозиум по фундаментальным и прикладным проблемам науки, МИАС, (Москва, 30 ноября 2020); «Кирпичниковские чтения - XV Международная конференция молодых ученых, студентов и аспирантов «Синтез и исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений», (Казань, 29 марта-02 апреля 2021); MSF2022 Материаловедение будущего, РФ (Нижний Новгород, 5-7 апреля 2022); Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии», (Минск, 23-24 марта 2022); Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu ildönünə həsr edilmiş “Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri” mövzusunda beynəlxalq elmi konfrans (Gəncə, 5-6 may 2022), Akademik N.M.Seyidovun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Katalizatorlar, olefinlər əsaslı yağlar” mövzusunda respublika elmi konfransı (NKPI, Bakı, 19-20 may 2022), Akademik Ə.M.Quliyevin 110 illik yubileyinə həsr edilmiş “Müxtəlif təyinatlı üzvi maddələr və kompozisiyon materiallar” mövzusunda respublika elmi konfransı (Bakı, 30-31 may 2022), AMEA Gəncə bölməsi “Ətraf mühitin mühafizəsi, sənaye və məişət tullantılarının təkrar emalı” mövzusunda respublika konfransı (Gəncə, 24-25 noyabr 2022), Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans (Bakı, 22 iyun 2023).

**Nəşrlər.** Dissertasiya işinin nəticələri 53 elmi işdə, onlardan 29-u elmi məqalə, 23-ü tezis olmaqla yerli və xarici jurnallarda, biri Azərbaycan patenti olmaqla dərc olunmuşdur. Xarici jurnallarda məqalələr “Heliyon” (İF-3.776, Q1, SCIE, İngiltərə), “Journal of Elastomers & Plastics” (İF-2.215, Q3, SCIE, İngiltərə), “Journal of the Chemical Society of Pakistan” (İF-0.68, Q4, SCIE), “Russian Journal of Applied Chemistry” (İF-0.869, Q4, SCIE), “Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология” (Q4, WoS,

Scopus), “Inorganic Materials: Applied Research” (WoS, Scopus), “Polymer Science, Series D” (Scopus), «Композиты и наноструктуры», «Материаловедение», «Пластические массы», «Все материалы. Энциклопедический справочник», «Перспективные материалы», yerli jurnallarda “Processes Petrochemistry and Oil-refining”, “New Materials, Compounds and Applications”, “Azərbaycan Kimya Jurnalı”, və “Kimya Problemləri Jurnalı” jurnallarında dərc olunmuşdur.

#### **Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Polimer Materialları İnstitutunda “Polimerlərin mexaniki-kimyəvi modifikasiyası və emalı” laboratoriyasında elimi-tədqiqat planına uyğun olaraq yerinə yetirilmişdir. Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində müəllif, həmçinin, D.İ. Mendeleev adına Rusiya Kimya-Texnologiya Universiteti (Moskva ş.), Başqırdıstan Dövlət Universiteti (Ufa ş.), Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutu (Bakı ş.), Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya və Geofizika İnstitutu (Bakı ş.), Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı ş.) elmi təşkilatlarla bağlanmış iki tərəfli əməkdaşlıq haqqında birgə elmi-tədqiqat işlərinin aparılmasında iştirak etmişdir.

**Dissertasiya işinin quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi 394 səhifə həcmində (439020 işarə) olub girişdən (21246 işarə), 8 fəsildən (birinci fəsil - 80952 işarə, ikinci fəsil - 16754 işarə, üçüncü fəsil - 81693 işarə, dördüncü fəsil - 54586 işarə, beşinci fəsil - 44214 işarə, altıncı fəsil - 53916 işarə, yeddinci fəsil - 35057 işarə, səkkizinci fəsil - 38671 işarə), xülasə (2389 işarə) və əsas nəticələrdən (9542 işarə), 351 adda ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir. Dissertasiya 93 şəkil və 63 cədvəl daxildir.

## **DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS MƏZMUNU**

**Girişdə** problemin aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi və əsas məsələlər, elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti verilmiş və müdafiəyə təqdim edilmiş müddəalar şərh edilmişdir.

**Birinci fəsildə** nanokompozitlərin, elektrikkeçirici materialların alınması və tədqiqi probleminin vəziyyətinin ədəbiyyat icmalı təqdim olunmuşdur. Müxtəlif növ kompozit materialların işlənilib hazırlanması və tədqiqi, nanohissəciklərin alınması problemi və onların polimer matrisin quruluşunun və xassələrinin formalaşmasında rolu üzrə mövcud tədqiqatlarının əsas elmi müddəaları, məqsəd və vəzifələri verilmişdir.

**İkinci fəsildə** qarışdırılan komponentlərin ilkin göstəriciləri, kompozit materialların alınması və tədqiqi üsulları haqqında məlumatlar və nanokompozitlərin emalının əsas üsulları nəzərdən keçirilmişdir.

**Üçüncü fəsil** metalla doldurulmuş nanokompozitlərin quruluşunun təhlili və əsas fiziki-kimyəvi və fiziki-mexaniki xassələrinin öyrənilməsi probleminə həsr edilmişdir.

**Dördüncü fəsildə** geniş çeşidli PO, TK və Qr əsasında nanokompozitlərin quruluşunun, fiziki-mexaniki və fiziki-kimyəvi xassələrinin işlənilib hazırlanması və öyrənilməsi üzrə tədqiqatın nəticələri təqdim edilmişdir.

**Beşinci fəsil** PO, kompatibilizator, TK, Qr və metallar əsasında çoxkomponentli nanokompozitlərin quruluşunun və xassələri kompleksinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Kompatibilizatorun və TK-nın miqdarının nanokompozitlərin metal səthə qarşı adgeziya möhkəmliyinin dəyişmə qanunauyğunluğuna təsiri nəzərdən keçirilmişdir.

**Altıncı fəsildə** PO, TK və Qr əsasında nanokompozitlərin tunel və elektron elektrikkeçiriciliyinin mexanizminin öyrənilməsinə həsr edilmiş və nanokompozitlərdə zəncirvari və klaster quruluşların formalaşmasına diqqət yetirilmişdir. PO və doldurucuların növündən asılı olaraq fazalar arası sahədə nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin dəyişməsinin xarakterini şərh etməyə imkan verən əsas nəticələr, elmi müddəalar və yeni elmi yanaşmalar göstərilmişdir.

**Yeddinci fəsildə** ilk dəfə olaraq termoplastik elastomerlər əsasında nanokompozitlərin quruluşunun, kompleks fiziki-mexaniki, fiziki-kimyəvi xassələrinin və elektrikkeçiriciliyinin tədqiqinin təhlili

verilmişdir. İstifadə olunan elastomerin, termoplastik PO-nın növündən, TK, Qr, metal və kompatibilizatorun miqdarından asılı olaraq termoplastik elastomerlərin elektrikkeçiriciliyinin dəyişmə qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

**Səkkizinci fəsil**də PO, TK və Qr əsasında elektrikkeçirici çoxkomponentli nanokompozitlərin təzyiq altında tökmə və ekstruziya üsulları ilə emalının texnoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə elmi yanaşmalar təqdim olunur. Hazırlanmış elektrikkeçirici nanokompozitlərin tərkibinə, elektron və elektotexnika sənayesində praktik istifadə sahələrinə görə təsnifatının nəticələri təqdim olunur. Bu fəslin sonunda nəticələr və ədəbiyyat istinadlarının siyahısı verilmişdir.

**Əlavələrdə** ekstruziya və təzyiq altında tökmə üsulları ilə emalı üçün optimal texnoloji rejimlərin seçilməsinin sınaq aktları və laboratoriya reqlamenti təqdim edilmişdir.

## **1. Poliolefinlər əsasında metalla doldurulmuş nanokompozitlərin kristallaşma qanunauyğunluqları, reoloji və fiziki-mexaniki xassələri**

İlk növbədə elektrikkeçirici nanokompozitin tərkibində olan polimer matrisin növünün və komponentlərin hər birinin, onların əsas fiziki-mexaniki, elektrofiziki, istilik deformasiya, reoloji, texnoloji və digər xüsusiyyətlərinə selektiv təsirinə ardıcıl və mərhələli şəkildə öyrənilməsi vacib idi. Bu səbəbdən də, qarışıqın komponentləri arasında uyğunluğu yaxşılaşdırmaq üçün, malein anhidridi ilə modifikasiya edilmiş YSPE (PEMA) və izotaktik PP (PPMA) əsasında olan kompatibilizatorlardan istifadə edilmişdir. Kompatibilizatorların istifadəsi geniş çeşidli PO-lar əsasında alınan nanokompozitlərin keyfiyyət xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasına müsbət təsir göstərmişdir.

Dissertasiyanın bu fəslində əsasən müxtəlif növ metal nanohissəciklərinin PO əsasında alınan nanokompozitlərin əsas fiziki-mexaniki və fiziki-kimyəvi xassələrinə ayrı-ayrılıqda təsiri müəyyən olunmuşdur. Metal doldurucu kimi alüminium tozu (AT) və Cu, PO kimi YSPE, ASPE və PP istifadə olunmuşdur. Tədqiqatın məqsədi,

göstərilən PO əsasında alınan nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin kompleks şəkildə yüksək səviyyədə saxlamaq üçün metal doldurucuların optimal miqdarının müəyyən edilməsi idi.

PO və AT əsasında kompozitlərin fiziki-mexaniki xassələri üzrə aparılan tədqiqatların nəticələri müqayisə edərkən müəyyən edilmişdir ki, AT-nun miqdarının 0.5 kütlə%-dən 30 kütlə%-ə qədər artması zamanı, dağıdıcı gərginliyin və əyilmədə elastiklik modulunun qiymətlərində qeyri-müəyyən dəyişiklik müşahidə edilir. Lakin, bütün nümunələrdə istiliyə davamlılığın artması və kompozitlərin nisbi uzanmasının azalması kimi ümumi tendensiya müşahidə olunur. Belə ki, məsələn, YSPE və PP-dən fərqli olaraq, ASPE-nin tərkibində AT-nun miqdarının artması nəticəsində, kompozitlərin dağıdıcı gərginliyində və əyilmədə elastiklik modulunun qiymətində artım müşahidə olunur, lakin nisbi uzanma isə nəzərə çarpacaq dərəcədə aşağı düşür.

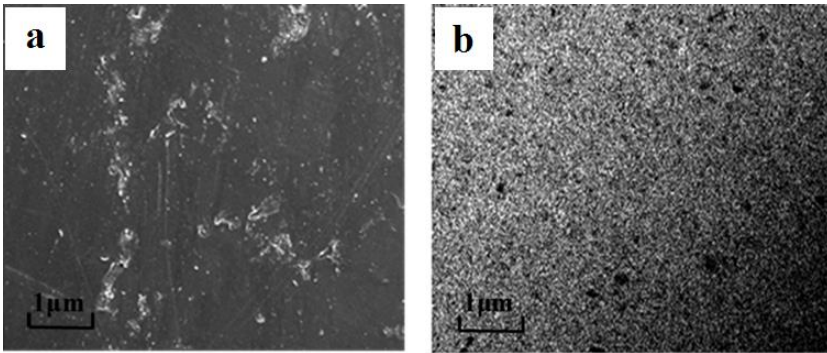
Məlumdur ki, polimer matrisin ərintisində eyni zamanda həm homogen, həm də heterogen törəməmələgətirmə mərkəzləri mövcuddur. Homogen mərkəzlər ərintidə makrozəncirlərin qarşılıqlı oriyentasiyası nəticəsində formalaşır. Heterogen mərkəzlər isə doldurucunun inkişaf etmiş səthində makrozəncirlərin oriyentasiyası zamanı əmələ gəlir. Təbiidir ki, bu cür oriyentasiyanın nəticəsində, AT hissəciklərinin səthində adgeziya əlaqələrinin möhkəmliyi, PEMA-nın iştirakında daha da artacaqdır. Kompozit ərintisində əmələ gələn törəməmələgətirmə mərkəzləri, soyuma prosesində kristallaşma mərkəzlərinə çevrilir.

Doldurulmuş kompozitin ərintisinin özlülüyünün artması AT hissəciklərinin səthində PEMA-nın iştirakı ilə daha da güclənən "keçid monolayının" meydana gəlməsi ilə əlaqələndirilə bilər. PP+AT əsasında olan kompozitlərdə ƏAG-nı təyin edərkən analoji qanunauyğunluq müşahidə edilmişdir. Məsələn, əgər ilkin PP-nin ƏAG-sı 3.6 q/10 dəq təşkil edir, 1.0, 3.0, 5.0, 10, 15, 20, 30 kütlə% AT daxil etdikdən sonra bu göstəricinin qiyməti aşağıdakı ardıcılıqla dəyişib: 3.6; 4.0; 3.1; 2.5; 1.3; 0.66, 0.12 q/10 dəq. Nümunələrin soyuması nəticəsində, PO və kompatibilizatorun malein anhidridi (MA) saxlamayan xətti makrozəncirləri kristallaşma prosesində və



kristallik quruluşlu törəmələrin formalaşmasında iştirak etməsi ilə özünü göstərir. Aydın olur ki, MA manqaları saxlayan makrozəncirlər, kristalların boy atması prosesində, sferolitlər arası amorf sahəyə sıxışdırılırlar. Metal nanohissəciklərinin daxil edilməsi zamanı, polimer matrisin kristal quruluşlarının boy atması prosesi həm də doldurucuların sferolitlər arası amorf sahəyə sıxışdırılması ilə müşayiət olunur, yəni seqreqasiya prosesi baş verir. Beləliklə, nanokompozitlərin sferolitlər arası amorf sahəsi, polimer matrisin keçid zəncirlərinin, metal nanohissəciklərinin və MA manqaları saxlayan makrozəncirlərin seqmentlərinin qarışığından ibarət olur.

Şəkil-1 (a)-dan görüldüyü kimi, kompatibilizasiya olunmamış kompozitdə AT hissəcikləri polimer matrisdə qeyri-bərabər paylanmışdır. Lakin kompatibilizator (PEMA) (b) daxil edildikdən sonra AT hissəcikləri polimer matrisdə sanki "hörülmüş" və bərabər paylanmış olur; yəni, təcrid edilmiş vəziyyətdə olmur. Bu hal isə öz növbəsində kompozitin fiziki-mexaniki xassələrinə müsbət təsir göstərir.



**Şəkil 1(a,b). Doldurulmuş kompozitlərin SEM şəkilləri: YSPE+20 kütlə% AT (a) və YSPE+ 20 kütlə% AT +2 kütlə% PEMA (b)**

Analoji qaydada Cu tozunun daxil edilməsinin PO-nun əsas fiziki-mexaniki və fiziki-kimyəvi xassələrinə təsiri öyrənilmişdir.

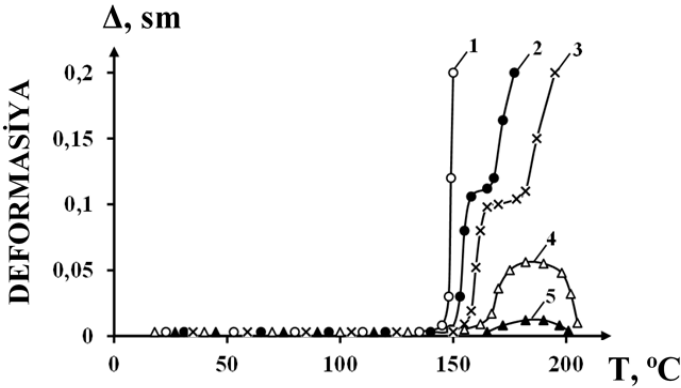
Müəyyən edilmişdir ki, Cu-tərkibli nanokompozitlərdə PEMA və PPMA tipli kompatibilizatorlardan istifadə edilməsi nəticəsində xassələrin yaxşılaşması müşahidə edilir. Pilləli dilatometriya üsulu ilə PO əsasında metal doldurulmuş kompozitlərin xüsusi həcmnin və xüsusi sərbəst həcmnin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Birinci növ faza keçidi və şüşələşmə temperaturu müəyyən edilmişdir. Kolmaqorov-Avrani koordinatlarında metal doldurucunun miqdarından asılı olaraq kristallaşmanın kinetik qanunauyğunluqları və kompozitlərin kristal törəmələgəlmələrinin böyümə mexanizmi tədqiq edilmişdir. Cu və ya AT-nin miqdarının 0.5 kütlə%-dən 30 kütlə%-dək artırılması zamanı törəməmələgətirmə mərkəzlərinin davamlı formalaşması nəticəsində, kristallaşmanın mexanizmi sferik 3-D ölçüldən 2-D ölçüyə lövhə növlü kristalların alınmasına keçir.

Termomexaniki tədqiqatlar üsulu vasitəsi ilə metalla doldurulmuş kompozitlərin yumşalma və birinci növ faza keçidi temperaturu təyin edilmişdir. Doldurucunun miqdarı artdıqca, kompozitin yumşalma temperaturu da yüksəlir. Kompozitlərin dikumil peroksidlə (DP) vulkanlaşması nəticəsində yüksək elastiki deformasiya sahəsinin yaranması ilə yanaşı torvari vəziyyətə də keçməsi göstərilmişdir (şəkil-2). Şəkildən göründüyü kimi, DP-nin miqdarının 0.25 kütlə%-dən 2.0 kütlə%-dək artması ilə termomexaniki əyriyədə nəzərə çarpan dəyişikliklər qeydə alınır.

Əldə edilmiş təcrübi məlumatlara görə, üç fiziki halın-bərk, yüksək elastiki və özlü-axıcı halın əmələ gəlməsi, 0.25-0.5 kütlə% miqdarında DP istifadə edərkən mümkün olur. DP-nin miqdarı 1.0-2.0 kütlə% olduğu halda, zəncirlərarası tikilmənin sıxlığı o həddə çatır ki, polimer dərhal yüksək elastiklik vəziyyətindən dönməyən torvari vəziyyətə keçir (əyriyə-4 və 5).

Metal doldurulmuş kompozitlərdə adgeziv-substrat adgeziya mexanizmi kompatibilizatorun, Cu və AT-nin miqdarından asılı olaraq ətraflı təhlil edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, adgezivin (metal doldurulmuş kompozitin) metal folqa (substrat) səthindən qopma müqavimətinin qiyməti 4 əsas amildən: ərintinin axıcılığından, adgezivin polyarlığından, doldurucu və substratın uyğunluğundan və folqalanmış nanokompozitlərin preslənmə temperaturundan asılıdır.

Bununla əlaqədar olaraq, polimer matrisin, kompatibilizatorun və metalın tipindən və miqdarından asılı olaraq alınan kompozitlərin qorpa müqaviməti öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, kompatibilizasiya olunan PO-larda adgeziya möhkəmliyi xeyli yüksəlir. Ən yaxşı nəticələr 5.0-10 kütlə% metal və 2.0-3.0 kütlə% kompatibilizator saxlayan kompozitlərdə müşahidə olunur.



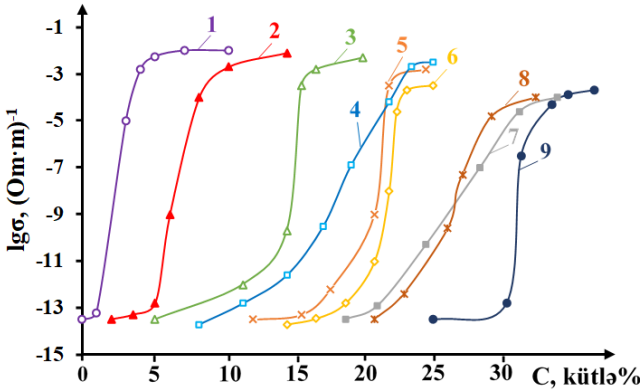
**Şəkil 2.** YSPE+3.0 kütlə% PEMA+5.0 kütlə% AT- 1(o) əsasında olan kompozitlərin termomexaniki ayrılmasının dəyişmə qanunauyğunluğuna DP-nın miqdarının təsiri (kütlə%-lə): 2(●)- 0.25 kütlə% DP; 3(x)- 0.5 kütlə% DP; 4(Δ)- 1.0 kütlə% DP və 5(▲)-2.0 kütlə% DP.

## 2. Poliolefinlər, texniki karbon və qrafit əsasında nanokopozitlərin seqreqasiyalı quruluşu və fiziki-mexaniki xassələri

Bu bölmədə kompozit materialların əsas fiziki-mexaniki, istilik fiziki və reoloji xassələrinə TK və Qr-nın təsirinin öyrənilməsindən əldə edilən nəticələr müzakirə olunur. Pilləli dilatometriya üsulundan istifadə etməklə, kristallaşmanın kinetik qanunauyğunluqlarının və yuxarıda göstərilən doldurucuların miqdarından asılı olaraq kristal

törəmələrin əmələ gəlmə mexanizminin tədqiqi üzrə unikal nəticələr əldə edilmişdir. Buna görə də, bu bölmədə YSPE-nin əsasında elektrikkeçirici kompozit materialların alınması məqsədi ilə, PO-da istifadə üçün doldurucuların seçilməsinin əsaslandırılması ilə bağlı məsələlər nəzərdən keçirilmişdir. Bir sıra doldurucular içərisindən seçilmiş TK və Qr-nın, geniş çeşidli PO əsasında nanokompozitlərin quruluş və kompleks fiziki-mexaniki xassələrinin öyrənilməsinə əsas diqqət yetirilmişdir.

Effektiv elektrikkeçirici doldurucuları seçmək üçün əvvəlcə misal kimi, YSPE və bir sıra TK və Qr nümunələrindən istifadə etməklə, polimer kompozitlərin elektrikkeçiricilik və bəzi fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinə təsiri qiymətləndirilmişdir. Bununla əlaqədar olaraq, şəkil-3-də 9 növ TK nümunəsi tədqiqat obyekti kimi istifadə edilmişdir: 1-Printex XE 2B, 2-asetiləndən alınan saja (AS), 3- N-550; 4- П-514; 5- П-324; 6- П-803; 7- K-354; 8- П-234; 9- T-900.



**Şəkil 3. Müxtəlif markalı TK-nın miqdarının YSPE\* əsasında olan kompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə təsiri:1-Printex XE 2B; 2-AS; 3-N-550; 4- П-514; 5- П-324; 6- П-803; 7- K-354; 8- П-234; 9- T-900.**

Şəkil 3-dən göründüyü kimi, təqdim edilən komponentlərdən Printex XE 2B markalı TK (əyri-1) və AS (əyri-2) nümunələri daha

yüksək effektivlik nümayiş etdirirlər. Bu nümunələrin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onların maksimal elektrikkeçiriciliyi TK-nın nisbətən aşağı miqdarında alınmışdır. Əldə edilmiş məlumatlar böyük əhəmiyyət kəsb edir, çünki onlar TK-nın elektrikkeçiriciliyə təsirinin fərqi bir çox səbəblərdən qaynaqlandığını söyləməyə imkan verir. Onlardan ən əsası, TK nanohissəciklərinin inkişaf etmiş səthi və dispersliyidir. Məsələn, verilmiş nömrələnməyə görə, TK nanohissəciklərinin ölçüləri aşağıdakı ardıcılıqla dəyişir: 1- (18-20 nm), 2-(30-40 nm), 3-(40-60 nm), 4-(120-140 nm), 5-(130-150 nm), 6-(130-150 nm), 7-(160 -180 nm), 8-(160-170 nm), 9-(250-300 nm). Öyrilərdən görüldüyü kimi, hissəciklərin ölçüləri böyüdükcə maksimal elektrikkeçiricilik TK-nın daha yüksək miqdarlarında əldə edilir.

Lakin, TK-nın yüksək miqdarında elektrikkeçiriciliyi saxlamaq cəhdi, YSPE\* əsasında olan kompozitlərin kompleks fiziki-mexaniki xassələrinin pisləşməsinə səbəb ola bilər. Doğrudan da bunu cədvəl-1-də verilmiş nəticələr də təsdiq edir.

**Cədvəl 1**

**Elektrikkeçiriciliyin maksimum qiymətində müxtəlif karbon tərkibli kompozit materialların fiziki-mexaniki xassələri**

№	YSPE-nin tərkibində müxtəlif markalı TK kütlə%	Dağıdıcı gərginlik MPa	Nisbi uzanma %	Elektrikkeçiricilik $(\text{Om} \cdot \text{m})^{-1}$	ƏAG q/10 dəq
1	93YSPE*+7.0Printex XE 2B	33.0	50	$7.5 \cdot 10^{-2}$	2.2
2	88YSPE*+12 AS	31.8	30	$4.6 \cdot 10^{-2}$	1.3
3	85YSPE*+15 N550	25.4	20	$0.2 \cdot 10^{-2}$	0.2
4	77YSPE*+23 П-514	22.6	-	$5.6 \cdot 10^{-3}$	-
5	79YSPE*+21 П-324	19.7	-	$4.7 \cdot 10^{-3}$	-
6	78YSPE*+22 П-803	20.1	-	$4.6 \cdot 10^{-3}$	-
7	68YSPE*+32 K-354	17.8	-	$1.8 \cdot 10^{-3}$	-
8	69YSPE*+31 П-234	17.3	-	$8.5 \cdot 10^{-4}$	-
9	68YSPE*+32 T-900	17.9	-	$4.7 \cdot 10^{-3}$	-

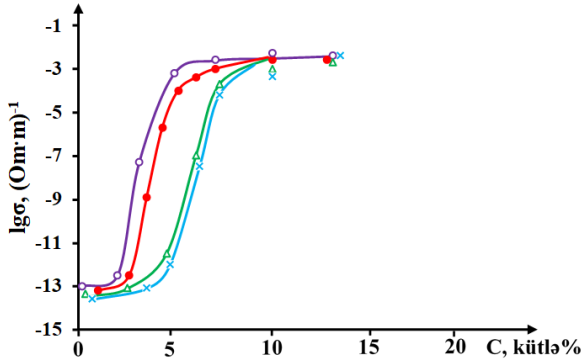
YSPE\* -maleinləşmiş YSPE

Bu cədvəldəki məlumatların müqayisəli təhlilindən aydın olur ki, 1 və 2 nömrəli nümunələr ən yaxşı fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərə malikdir, çünki elektrikkeçiriciliyin qiymətinə maksimum təsir TK-nın nisbətən aşağı miqdarında əldə edilmişdir. 3-9 nümunələrində xassələrin pisləşməsi onunla əlaqədardır ki, elektrikkeçiriciliyin maksimal həddinə nail olmaq üçün nisbətən daha yüksək miqdarda TK-dan istifadə etmək lazımdır. Lakin, kompozitin tərkibində TK-nın miqdarı artdıqca, dağıdıcı gərginlik, nisbi uzanma və ƏAG pisləşir.

Oxşar tədqiqatlar Qr ilə doldurulmuş YSPE\* əsasında olan nanokompozitlər ilə də aparılmışdır. Tədqiqat obyektini kimi müxtəlif markalı Qr-dan istifadə edilmişdir (kristallik növlü GC-2 və GC-3, qələm növlü GK-1 və GK-2). GC-2 və GC-3 nanohissəciklərinin ölçüsü 25-45 nm, GK-1 və GK-2 üçün bu göstərici 30-55 nm aralığındadır. Şəkil 4-də yuxarıda göstərilən Qr markaları ilə YSPE\* əsasında alınan nanokompozitlərin elektrikkeçiricilik xüsusiyyətləri göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, bu nümunələrdə elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti 5.0-7.0 kütlə% GC-2 və GC-3 Qr markasından istifadəsi zamanı əldə edilir. Bu zaman ən yaxşı elektrikkeçiricilik göstəricisi GC-2 markalı Qr daxil edilmiş YSPE nümunələrində qeydə alınmışdır. Qr elektriki keçirir, çünki o, hər bir təbəqədə zəif Van-der-Vaals qarşılıqlı təsire malikdir və  $\pi$ -elektronlarının hesabına polikonyuqə olunmuş əlaqələr sistemindən ibarətdir.

Bununla yanaşı, YSPE\*-nin tərkibində 7.0 kütlə% müxtəlif markalı Qr saxlayan nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələri də tədqiq edilmişdir. Tədqiqatın nəticələrindən (cədvəl-2) aydın olur ki, Qr doldurulmuş nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələri praktiki olaraq fərqlənmir. Əsas fərq, yalnız elektrikkeçiriciliyin qiymətindədir.

Başqa sözlə desək, nanokompozitlərdə qrafit 3 əsas funksiyasını yerinə yetirir: elektrikkeçiriciliyini təmin edir, antifriksion xüsusiyyətlər aşılır və məlumatların emal edilməsi üçün ƏAG-nı lazımi səviyyədə saxlayır. Buna görə də elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınması və tədqiqi istiqamətində tədqiqatları sistemli şəkildə aparmaq üçün doldurucu kimi GC-2 markalı Qr seçilmişdir.



**Şəkil 4. YSPE\* əsasında olan nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə müxtəlif markalı qrafitin miqdarının təsiri:**  
**o - ΓC-2; ● – ΓC-3; x- ΓK-2; Δ – ΓK-1.**

**Cədvəl 2**

**Müxtəlif markalı qrafit daxil edilmiş YSPE\* əsasında olan nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələri**

№	Müxtəlif markalı qrafitlə YSPE* -nin tərkibi kütlə%	Dağıdıcı gərginlik MPa	Nisbi uzanma %	Elektrikkeçiricilik (Om·m) <sup>-1</sup>	ƏAG q/10 dəq	Birinci dövrdə yeyilmə mq
1	YSPE* 93YSPE*+7.0	31.3	435	$1.6 \cdot 10^{-13}$	5.6	139
2	ΓC-2 93 YSPE*+7.0	31.5	40	$4.5 \cdot 10^{-2}$	6.2	92
3	ΓC-3 93YSPE*+7.0	30.8	35	$8.6 \cdot 10^{-3}$	6.1	91
4	ΓK-1 93YSPE*+7.0	31.0	40	$5.2 \cdot 10^{-4}$	6.0	88
5	ΓK-2	31.2	40	$5.3 \cdot 10^{-5}$	5.9	90

Geniş çeşidli PO, termoplastik elastomerlər (TPE) əsasında çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınması istiqamətində aparılan tədqiqatlarda 2 karbon tərkibli doldurucu: **Printex XE 2B** markalı **TK** və **ГC-2** markalı **Qr** seçilmişdir. Təbiidir ki, əvvəlcədən polimerlərin quruluşunda seqreqasiya və ya ayrılma prosesinin gedişini aydınlaşdırmaq düzgün olardı. PO-lar yarımkristallik polimerlərə aiddirlər yəni, seqreqasiyalı materiallar kimi sayılır. Bu onunla izah edilir ki, PO-nın kristallaşması və kristalların boy atma prosesində, onların kristal və amorf fazasına ayrılması və formalaşması baş verir. PO-nın tərkibinə nanohissəciklər daxil edildikdən sonra, onun bir hissəsi heterogen kristallaşma mərkəzlərinin yaranmasında iştirak edir, qalan böyük hissəsi isə polimer matrisin kristallik törəmələrinin boy atma prosesi zamanı, sferolitlər arası amorf sahəyə ötürülürlər. Beləliklə, seqreqasiya prosesi - bir polimer matrisdə eyni növlü komponentlərin ayrılması və yenidən paylanmasıdır. Buna görə də, PO və nanokompozitləri, seqreqasiya olunmuş molekulüstü quruluşa malik materiallar kimi hesab etmək düzgün olardı. Seqreqasiya prosesinin bu xüsusiyyəti nanokompozitlərin fiziki-mexaniki, istilik-fiziki və elektrofiziki xassələrinin yüksəlməsinə unikal imkanlar verir. Təəssüf ki, TK və Qr-ın miqdarının PO əsasında olan nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələrinə təsiri ilə bağlı tədqiqatların nəticələri bu istiqamətdə olan elmi ədəbiyyatda kifayət qədər əsaslandırılmamışdır və konkret məlumatlar verilməmişdir.

PO əsasında nanokompozitlərin xassələrinin hərtərəfli analizi məqsədi ilə polimer matrisi kimi **ASPE**, **PP**, **EHB**, **EBB**, **RPP** və **BEPB** istifadə edilmişdir. Belə tədqiqatların aparılması, nanokompozitlərin əsas fiziki-mexaniki xassələrinə, kristallıq dərəcəsinin və PO makrozəncirinin quruluşunun təsirinin müəyyən edilməsi zərurətindən irəli gəlirdi. Qeyd etmək lazımdır ki, bu bölmədə əsas diqqət göstərilən polimerlər əsasında alınmış nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xassələrinə Qr, TK, AT və Cu-un təsirinin öyrənilməsinə yönəldilmişdir. PO-nın və doldurucuların təbiətinin çoxkomponentli nanokompozitlərin xassələrinin dəyişmə qanunauyğunluğuna birgə təsirinin müəyyən edilməsi də vacib



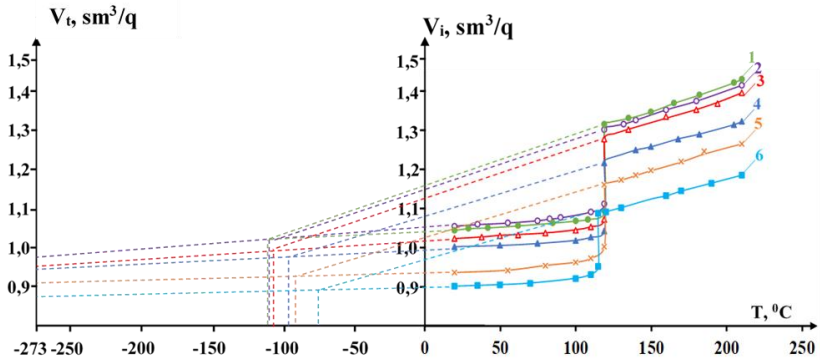
məsələdir. YSPE\* əsasında alınan nanokompozitlərin əsas fiziki-mexaniki xassələrinə müxtəlif növ doldurucuların təsirinin nəticələri və eyni zamanda dartılmada axıcılıq həddi, dağıdıcı gərginlik, nisbi uzanma, istiliyə davamlılıq və əyilmədə möhkəmlik həddi kimi göstəriciləri müəyyənləşdirilmişdir.

Məsələn, alınan nəticələri təhlil edərkən, Qr-nın 1.0-dən 5.0 kütlə% qədər tətbiqi möhkəmlik xassələrinin praktiki olaraq bir-birindən az fərqləndiyini görmək olar. Qr-nın 10 kütlə% miqdarı nümunənin möhkəmlik xassələrinin azalmasına səbəb olur. Daha münasib 3.0-5.0 kütlə% Qr saxlayan nümunələr seçilə bilər. Qarışıqda komponentlərin uyğunluğunu yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə, kompatibilizator (PEMA) istifadə edilmişdir. YSPE\*-nin tərkibinə AT 5.0 kütlə%-ə qədər miqdarda daxil edilmişdir. YSPE\*-nin tərkibinə AT-nın daxil edilməsi möhkəmlik xassələrinin müəyyən qədər artması ilə müşayiət olunur və nisbi uzanmanın isə azalması baş verir. Tikici agent kimi kükürdün daxil edilməsi möhkəmlik göstəricilərinin, nisbi uzanmanın və istiliyə davamlılığının müəyyən dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Kükürdün kompozitlərin xassələrinə belə əhəmiyyətli təsiri, YSPE makrozəncirinin quruluşunda olan ikiqat əlaqələrin qırılması və makromolekulların kükürdlə təsiri nəticəsində, onun möhkəmlik xassələrinin dəyişməsinə müsbət təsir göstərən “nadir torlu” quruluşun formalaşması ilə izah edilə bilər.

### **3. Poliolefinlər əsaslı nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyin mexanizminə seqreasiyalı quruluşun təsirinin nəzəri əsasları**

Bu bölmədə əsas diqqət yüksək elektrikkeçirici xassələrə malik polimer materialların alınmasına yönəldilmişdir. Aydın ki, hazırlanmış material, praktiki cəhətdən elektən sənayesinin müxtəlif sahələrində istifadə edilə bilən, kompleks faydalı xassələrə malik olmalıdır. Bununla əlaqədar olaraq, bu fəsilə tərkibimizdən təkə PO əsasında alınan nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin

öyrənilməsinə deyil, həm də kristallaşma və kristalların boy atma prosesinin kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqindən əldə olunan nəticələr və onların müzakirəsi verilmişdir. Belə ki, bu proseslər, PO əsasında alınan nanokompozitlərin seqreqasiyalı molekulüstü quruluşunda fazalararası sahədə TK və Qr-da elektrikkeçirici zəncirlərinin əmələ gəlməsində müəyyənəddici amildir.



**Şəkil 5. İlkın YSPE\* (1) və onun müxtəlif TK tərkibli nanokompozitləri üçün xüsusi həcmın temperaturdan asılılığı: 2-1.0 kütlə% TK; 3-3.0 kütlə% TK; 4-5.0 kütlə% TK; 5-10 kütlə% TK; 6-20 kütlə% TK.**

Şəkil 5-də pilləli dilatometriya üsulu ilə maleinləşmiş YSPE nanokompozitlərinin temperaturdan və TK-nın miqdarından asılı olaraq xüsusi həcmnin ( $V_i$ ) dəyişmə qanunauyğunluğuna təsirinə nəticələri göstərilmişdir. TK-nın miqdarı 1.0-20 kütlə% aralığında dəyişdirilmişdir. Şəkildə göstərilən dilatometrik əyrilərin müqayisəli analizindən görmək olar ki, TK-nın miqdarı artdıqca nanokompozitlərin ( $V_i$ -T) asılılıq xarakteri müəyyən qanunauyğunluqla dəyişir. 210°C-dən pilləli soyuma prosesində birinci növ faza keçidi kimi xarakterizə olunan kristallaşma temperaturuna uyğun olan xüsusi həcmnin dəyişməsində kəskin

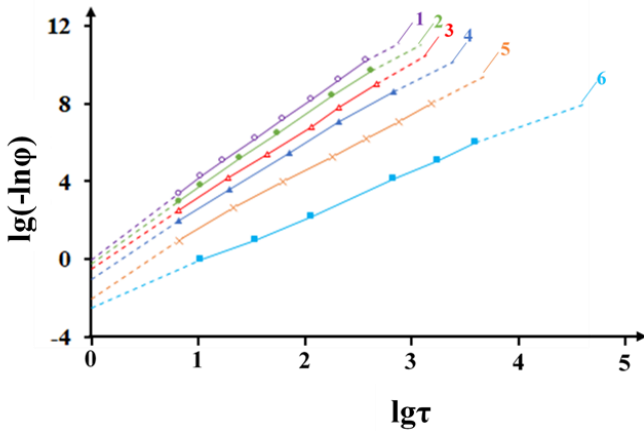
sıçrayış baş verir. Temperaturdan asılı olaraq xüsusi həcmın kəskin dəyişməsi nanokompozit ərintisinin amorf vəziyyətdən yarımkristallik vəziyyətə keçməsinı göstərir ki, bu da polimer matrisinin daxili enerjisinin və digər termodinamik parametrlərinin kəskin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Xarakterikdir ki, tərkibində 1.0-10 kütlə% TK olan nanokompozitlərdə kristallaşmanın birinci növ faza keçidi 119°C-də; 20 kütlə% TK saxlayan nümunələrdə isə kristallaşma temperaturu 115°C-ə uyğun gəlir. Nisbətən yüksək TK saxlayan nanokompozitlər üçün faza keçidi temperaturunun belə azalması DTA məlumatları ilə də uyğun gəlir. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, bu, yalnız nanohissəciklər tərəfindən sterik maneələrin meydana çıxması halında mümkündür. Bu da makrozəncirlərin daha mükəmməl kristal törəmələrin yaradılmasında, yəni onların oriyentasiyası və yığılmasında uzaq düzülüşlü nizamın pozulması ilə özünü biruzə verir. Bu vəziyyət, həmçinin TK nanohissəciklərinin quruluşmələğətirici xassələr nümayiş etdirə bilməsi və heterogen törəməmələğətirmə mərkəzlərinin formalaşmasında iştirak etməsi ilə izah olunur. Hesab etmək olar ki, kristallaşma nəticəsində, təbiətə fərqli olan iki mərkəzdən eyni vaxtda çoxlu sayda sferolit törəmələr əmələ gəlir və onlar boy atma zamanı bir-birinə sterik maneələr yaradaraq, nanokompozitlərdə xırda sferolit quruluşun formalaşmasına səbəb olur. Dilatometrik ölçmə metodu polimer materialların şüşələşmə temperaturunun təxmini qiymətləndirilməsini mümkün edir. Məsələn, ilkin YSPE\* üçün bu göstərici -138°C-dirsə, 1.0, 3.0, 5.0, 10, 20 kütlə% TK saxlayan nümunələr üçün -135, -131, -116, -93 və -84°C təşkil edir. Əldə edilən məlumatlardan aydın olur ki, şüşələşmə temperaturu TK-nın miqdarına qarşı yüksək həssaslıq nümayiş etdirir. Nanokompozitdə onun miqdarı artdıqca şüşələşmə temperaturunda artma tendensiyası müşahidə edilir.

Şəkil-6-da Kolmaqorov-Avraminin ikiqat loqarifmik koordinatlarında 115 və 119°C temperaturda TK-nın miqdarından asılı olaraq YSPE\* nanokompozitlərinin kristallaşmasının kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqinin nəticələri göstərilmişdir. Polimer kompozitlərdə kristallaşma prosesi Kolmaqorov-Avrami empirik tənliyinə (1) uyğun olaraq baş verir:

$$\varphi = e^{-K\tau^n} \quad (1)$$

Burada,  $\varphi$ -polimerin hələ kristal fazaya çevrilməmiş hissəsidir;  $K$ - ümumiləşdirilmiş törəməmələgətirmə və kristalların boy atma sabiti;  $\tau$ - kristallaşmanın vaxtıdır.

Bu tənlikdəki  $n$  törəməmələgətirmə və kristalların boy atma mexanizmi haqqında müəyyən məlumat əldə etməyə imkan verir. Alınan asılılıqlar düz xəttli xarakter daşıyır, yəni Avrami tənliyi ilə yaxşı təsvir edilir. YSPE\*-nin tərkibində TK-nın miqdarı artdıqca, göstərilən asılılıqlarda absis oxuna meyl bucağının bir qədər azalması, birinci növ faza keçidi temperaturunda kristal törəmələrin növünü və mexanizmini xarakterizə edən  $n$ -nin qiymətinin azalmasını təsdiqləyir.



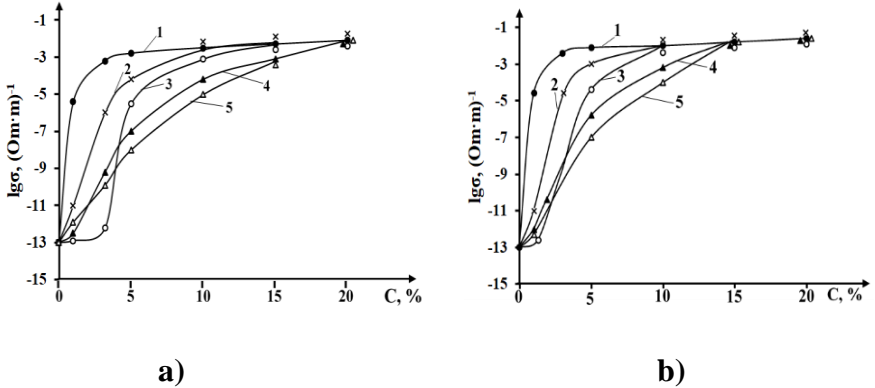
**Şəkil 6.** Müxtəlif TK miqdarında birinci növ faza keçidi sahəsində loqarifmik Avrami koordinatlarında YSPE\* nanokompozitlərinin kristallaşmasının kinetik qanunauyğunluqları: 1-ilkin YSPE\*, 2-1.0 kütlə% TK; 3-3.0 kütlə% TK; 4-5.0 kütlə% TK; 5-10 kütlə% TK; 6-20 kütlə% TK

Belə ki, ilkin funksionallaşdırılmış YSPE\* üçün  $n$ -nin qiyməti 4.0 bərabərdir ki, bu da homogen kristallaşma mərkəzlərinin davamlı formalaşması ilə sporadik törəmələrdən 3D-ölçülü sferolit quruluşun boy atmasını göstərir. 3.0 kütlə% TK saxlayan nanokompozitlərdə  $n$ -nin qiyməti 3.8-ə qədər, 5.0-10 kütlə% TK saxlayan nümunələrdə isə uyğun olaraq 3.6 və 3.3-ə qədər azalır. Nanokompozitlərdə  $n=3.3-3.8$  qiymətində olanda, iki törəməmələgətirmə mərkəzlərindən davamlı şəkildə kristalların əmələ gəlmə şərti əsasən homogen və heterogen 3D-ölçülü sferolitlərin boy atma növünə uyğundur. YSPE\*-nin tərkibində TK-nın 20 kütlə% miqdarında  $n$  ən aşağı qiymətini alaraq 2.5-ə bərabər olur.  $n$ -nin bu qiyməti kristallaşmanın başqa mexanizminə uyğundur ki, bu da homogen və heterogen törəməmələgətirmə mərkəzlərinin davamlı formalaşması ilə 2D-ölçülü diskşəkilli kristal birləşmələrin əmələ gəlməsi ilə xarakterizə olunur. Bu kompozitdə  $n$ -nin qiymətinin belə kəskin azalması, polimer matrisdə nanohissəciklərin çoxlu miqdarda toplanması, kristallaşma sürətini və kristal törəmələrin boy atmasını əhəmiyyətli dərəcədə ləngidən sterik maneələrin yarandığı barədə yuxarıda irəli sürülən fərziyyəni bir daha təsdiqləyir. Beləliklə, Kolmaqorov-Avrami tənliyinin köməyi ilə nanokompozitlərdə kristal törəmələrin boy atma mexanizmi haqqında etibarlı məlumat əldə etməyə, bununla da onların molekulüstü quruluşunda və müvafiq olaraq xassələrində mümkün dəyişiklikləri proqnozlaşdırmaq mümkündür.

Eyni üsulla qrafit daxil edilmiş YSPE\* nanokompozitlərinin kristallaşma prosesinin qanunauyğunluqları öyrənilmiş və kristalların boy atma və formalaşma mexanizmi müəyyən edilmişdir. Məlumdur ki, elektrikkeçiricilik polimer materialların elektrik sahəsində davranışını, temperaturdan və tətbiq olunan gərginlikdən asılı olaraq cərəyan keçirmə qabiliyyətini xarakterizə edən fiziki xassələrdən biridir. Eyni zamanda, polimer matrisindən elektrik yükünün necə ötürüldüyünü müəyyən etmək lazımdır (elektron, tunel və ya ion keçiriciliyinə görə və ya fərdi yüklənmiş makromolekullar tərəfindən). Müxtəlif elektrikkeçirici doldurucular və ya polyar qrupları olan polimer əsaslı kompozitlərdən istifadə edildikdə problem daha da mürəkkəbləşir. Bu zaman fəzalararası sahədə doldurucu

hissəciklərdən elektrikkeçirici zəncirlərin formalaşması ilə bağlı digər problemlər də ön plana çıxır.

Belə tədqiqatların aparılması məqsədlə PO üçün doldurucu kimi TK və Qr nanohissəciklərindən istifadə edilmiş və nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə TK və Qr-nın seçici təsiri haqqında məlumatlar əldə edilmişdir.



**Şəkil 7. 1-YSPE; 2-EHB; 3-ASPE; 4-PP; 5-RPP əsasında alınan nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə TK nanohissəciklərinin kompatibilizatorsuz (a) və kompatibilizatorla (b) miqdarının təsiri**

Şəkil-7-dən görüldüyü kimi, TK-nın miqdarı yüksəldikcə, nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin artmasında ümumi tendensiya müşahidə edilir. Bəzi PO növləri üçün əldə edilən məlumatlara görə, elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti TK-nın 20 kütlə% miqdarında əldə edilir və  $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$  təşkil edir. Şəkildə verilən əyrilərin müqayisəli təhlilindən aydın olur ki, PO arasında ən yüksək sıxlığa və kristalliklik dərəcəsinə malik olan YSPE əsasında alınmış nanokompozitlər elektrikkeçiricilikdəki dəyişikliklərə qarşı ən böyük həssaslıq nümayiş etdirir (şəkil-7, a, əyri 1). Hətta TK-nın minimal miqdarında belə (1.0-3.0 kütlə%) nümunələrin

elektrikkeçiriciliyi nisbətən yüksək qiymətlər alır. TK-nın miqdarından asılı olaraq elektrikkeçiriciliyin dəyişmə xarakterinə görə YSPE-yə ən yaxın olan EHB əsasında alınan nanokompozitlərdir (şəkil-7, a, əyri 2); 10 kütlə% TK saxlayan kompozitlər üçün elektrikkeçiriciliyin qiyməti yüksək olub  $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$  bərabərdir. YSPE və EHB-nin tərkibində TK-nın sonrakı artımı bu göstəricinin qiymətində nəzərə çarpacaq dəyişikliklərə səbəb olmur. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, ASPE nanokompozitləri üçün elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti [ $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ ] TK-nın 15 kütlə% miqdarında əldə edilir. PP və RPP əsasında alınan nanokompozitlərdə maksimal elektrikkeçiricilik TK-nın 20 kütlə% miqdarında əldə edilir. Şəkil-7 (a)-da təqdim edilən məlumatlardan belə çıxır ki, TK-nın miqdarından asılı olaraq nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliklərinin dəyişmə qanunauyğunluğuna PO-nın növü də əhəmiyyətli təsir göstərir. Eyni zamanda, son nəticədə PO əsasında alınan nanokompozitlər üçün elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti  $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ -dən çox deyil.

PO əsasında alınan nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin dəyişmə xarakterinə kompabilizatorun təsiri də müəyyən edilmişdir. Şəkil-7 (b)-də verilmiş əyriyərdən aydın olur ki, bu halda elektrikkeçiricilik demək olar ki, eyni qanunauyğunluqla dəyişir. Əsas fərq ondadır ki, 10 kütlə% TK daxil olan maleinləşmiş nümunələrdə elektrikkeçiriciliyin maksimal [ $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ ] qiyməti, YSPE\*, EHB\* və ASPE\*-də əldə edilir. PP\* və RPP\* əsasında alınan nanokompozitlər üçün elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti TK-nın nisbətən yüksək miqdarında 15 kütlə%-də qeydə alınmışdır. Şəkil-7 (a) və 7 (b)-dəki əyriyərin müqayisəli analizindən aydın olur ki, kompabilizator iştirakında ASPE, PP və RPP kompozitləri üçün elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti TK-nın nisbətən az miqdarında əldə edilir.

Kompabilizator daxil edilmiş nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyin aralıq qiyməti (maksimuma qədər) nisbətən yüksək olması olduqca əhəmiyyətlidir, çünki kompabilizatorun iştirakında maksimal effekt əldə etmək üçün nisbətən daha az miqdarda TK istifadə edilir. Nümunə olaraq YSPE\*-dən istifadə

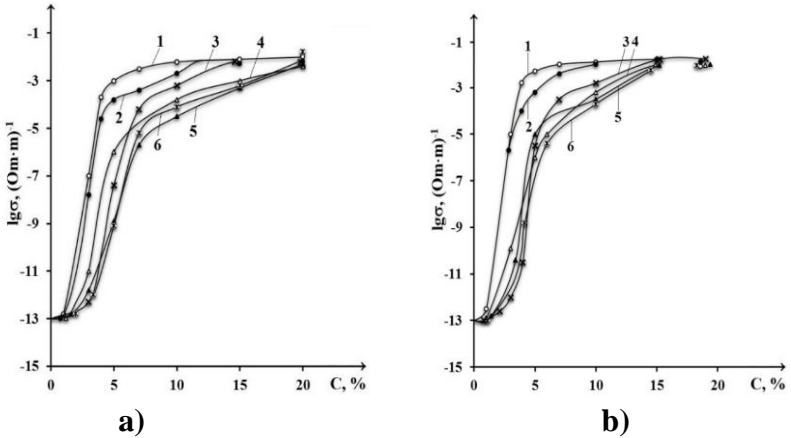
etməklə müəyyən edilmişdir ki, tərkibindəki TK-nın miqdarının 5.0, 10, 20 kütlə% aralığında artması ilə nanokompozitlərin ƏAG-sı aşağıdakı ardıcılıqla azalır: 2.4, 1.2, 0.5 q/10 dəq. İlk YSPE\* üçün ƏAG 5.6 q/10 dəq bərabərdir. Texnoloji aspektdə bu nəticələr nanokompozitin tərkibində TK-nın mümkün olan minimal miqdarında yüksək elektrikkeçiriciliyinə nail olmaq üçün olduqca sərfəlidir.

Tədqiqat zamanı qrafit nanohissəciklərinin nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə təsiri haqqında məlumatlar bu tip nanokompozitlərin ƏAG-nı qənaətbəxş səviyyədə saxlamaqla, yüksək elektrikkeçiriciliyinə nail olmaq, bu halda müşahidə edilən sürtünmə müqavimətinin qiymətini aşağı salmaq və eyni zamanda tərkibində texniki karbon olan nanokompozitlərlə müqayisəli analizlərin aparılması üçün vacib idi.

Şəkil-8 (a, b)-də YSPE, ASPE, EHB, RPP, PP və BEPB kimi PO əsasında nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə Qr-nın miqdarının təsirinə öyrənilməsinin nəticələri təqdim edilmişdir. Şəkildə aydın olur ki, TK daxil edildikdə olduğu kimi, PEMA və PPMA ilə kompatibilizasiya edilmiş Qr tərkibli nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyin qiyməti kompatibilizasiya edilməmiş nümunələrdən nisbətən yüksəkdir.

Kompatibilizator daxil edilməyən nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyin maksimal qiyməti PP, RPP və BEPB nümunələri üçün 20 kütlə%, ASPE-də 15 kütlə% , YSPE-də isə qrafit daxil edildiyi zaman 10 kütlə% miqdarında əldə olunmuşdur. Kompatibilizator daxil edilmiş nanokompozitlərdə maksimal elektrikkeçiriciliyi YSPE\*-5 kütlə%; EHB\*-10 kütlə%; ASPE\*, PP\*, RPP\* və BEPB\*-də 15 kütlə% qrafit istifadə edildikdə qeydə alınmışdır.



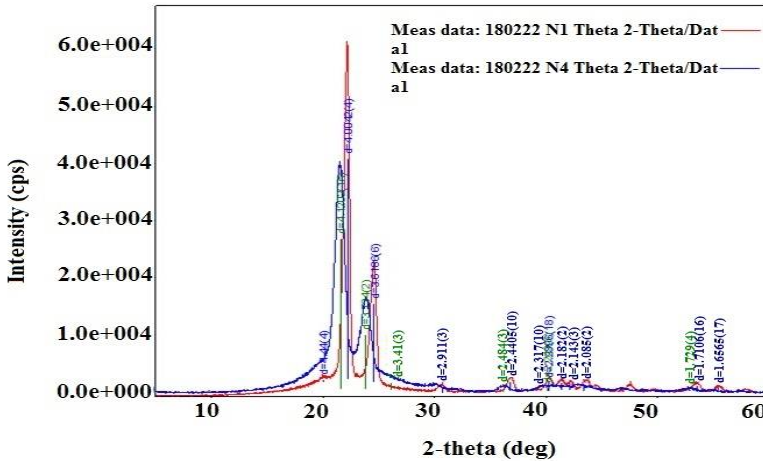


**Şəkil 8. Qrafitin miqdarının kompatibilizator daxil edilməmiş (a) və kompatibilizator daxil edilmiş (b) PO-nın elektrikkeçiriciliyinə təsiri: 1-YSPE; 2-EHB; 3-ASPE; 4-PP; 5-RPP; 6-BEPB**

DTA analizinin nəticələri, nanokompozitlərin xassələrinin doldurucunun miqdarından asılılığı ilə bağlı arqumentlərimizi bir daha təsdiqləyir. Nanokompozitlərin xassələrinin təhlili zamanı onların dəyişməsində müəyyən qanunauyğunluğun müşahidə edildiyini düşünməyə əsas verir. Beləliklə, 20 kütlə% TK olan nümunələrdə möhkəmliyin, nisbi uzanmanın, kristalliklik dərəcəsinin və ərimə temperaturunun nəzərə çarpacaq dərəcədə azalması müşahidə olunur.

Aşkar edilmiş qanunauyğunluqları əsaslandırmaq üçün ilkin YSPE\* və 20 kütlə% TK tərkibli nanokompozitin RFA nəticələri təqdim edilmişdir (şəkil-9). Difraktoqrammaların müqayisəli təhlilindən aydın olur ki, nanokompozitlərdə YSPE\*-nin reflekslərinə xas olan yerdəyişmələr müşahidə edilir. TK-nın daxil edilməsi ilə ilkin YSPE\* refleksinin yerdəyişməsi baş verir, belə ki,  $2\theta=21^{\circ}46'$ -dən  $2\theta=21^{\circ}25'$ -yə,  $2\theta=24^{\circ}27'$ -dən  $2\theta=23^{\circ}50'$ -yə yerini dəyişir. YSPE\*-yə xarakterik olan reflekslərin yerinin dəyişməsi təsdiq edir ki, TK nanohissəcikləri ilə polimer matris arasında fiziki qarşılıqlı təsir baş

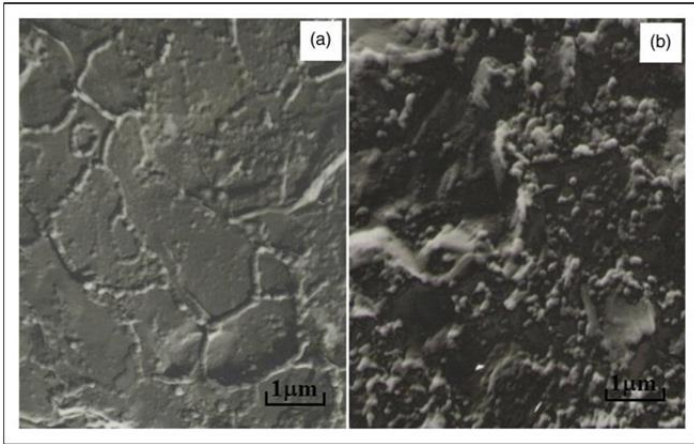
verir. Bundan əlavə, nanokompozitlərdə xarakterik reflekslərin intensivliyi bir qədər aşağıdır ki, bu da onun kristalliklik dərəcəsinin azalmasını göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, yalnız 20 kütlə% TK daxil etdikdə YSPE\* -nin kristalliklik dərəcəsi 82%-dən 73% qədər azalır. Yüksək doldurulmuş nanokompozitlərin kristalliklik dərəcəsinin aşağı düşməsi və ya materialın amorf luq dərəcəsinin 18-dən 27%-ə qədər artması, onu təsdiq edir ki, 20 kütlə% TK saxlayan nümunənin molekulüstü quruluşunda morfoloji dəyişikliklər baş verir və nəticədə, fazalar arası sahənin həcmi ni məcburi genişlənməsinə gətirib çıxarır.



**Şəkil 9. İlkin YSPE\* (qırmızı zolaq) və YSPE\* +20 kütlə% TK (göy zolaq) nanokompozitinin difraktoqramı**

Başqa sözlə, TK-nın miqdarının 5.0 kütlə% artması (yəni 15-dən 20 kütlə%-ə) ilə eyni zamanda fazalar arası amorf sahənin həcmi ni 9% artması baş verir. RFA nəticələrinə əsaslanaraq, YSPE\* -nin amorf luq dərəcəsinin 18%-ə bərabər olduğu halda, fazalar arası sahədə TK nanohissəciklərinin miqdarı polimer matrisə görə hesablanmış ümumi miqdardan təxminən 5.5 dəfə yüksək olacaqdır.

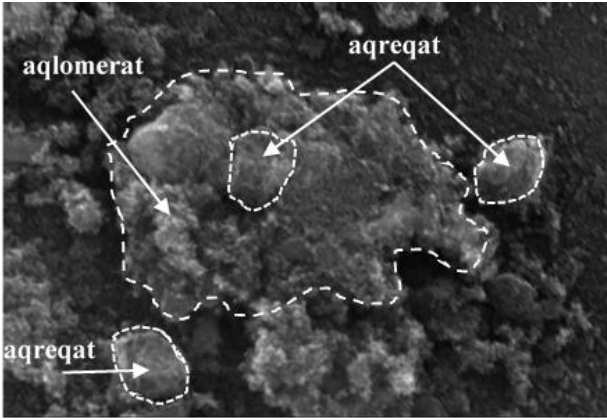
Doldurucu hissəciklərin sferolitlər arası sahədə toplanması kompozitin sıxlığının artmasına və nəticədə elektrikkeçirici zəncir quruluşun formalaşması ehtimalının yüksəlməsinə səbəb olur (şəkil-10,a,b). Bu, kompozit nümunələrin elektron mikroskop analizinin nəticələri ilə də təsdiqlənir. Bu nəticələrə əsasən, TK-nın 5.0 kütlə% miqdarında, YSPE\*-nin dar sferolitlər arası sahəsində zəncirvari elektrikkeçirici quruluş əmələ gəlir (şəkil-10,a). TK-nın miqdarının 20 kütlə%-ə qədər artması ilə sferolitlər arası sahənin sıxlığı o qədər artır ki, kompozitlərin elektron keçiriciliyini yüksək səviyyədə saxlayan, elektrikkeçirici aqlomeratlar-klasterlər (şəkil-10,b) əmələ gəlir.



**Şəkil-10. YSPE\*+5.0 kütlə% TK (a) və YSPE\*+20 kütlə% (b) nanokompozitlərinin elektron-mikroskop fotosəkilləri. x15000 böyüdülmüş.**

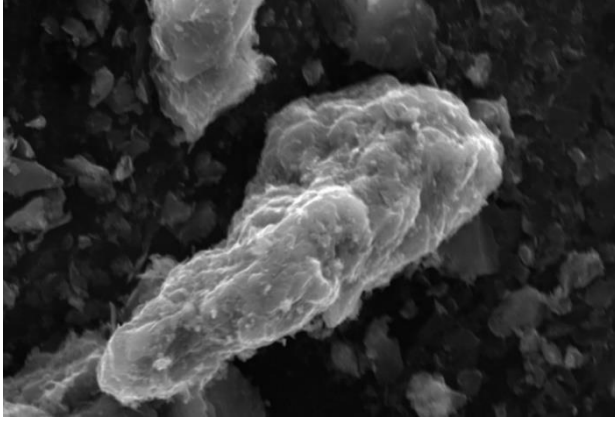
Bu halda, TK hissəcikləri olaraq, aralarında kimyəvi rabitə ilə bir-birinə bağlanmış hissəciklərin aqreqatları başa düşülür. Beləliklə, bundan sonra **nanohissəcikləri nanoaqreqatlar** kimi hesab etmək lazımdır. Nanohissəciklərin quruluşunun SEM analizi bunu aydın

şəkildə sübut edir (şəkil-11). Təqdim olunan şəkildən görünür ki, aqreqatlar birlikdə qruplaşaraq aqlomeratlar əmələ gətirirlər. Fərq ondadır ki, TK aqreqatı kimyəvi (valent) rabitə ilə bağlanmış polidispers hissəciklərdən ibarət “salxım” şəkilli diskret sərt kolloid rüşeymlərdir. Onlar, TK-nın ən kiçik dispersləşən vahidi olan, ondan yüzə qədər hissəciklərdən birləşmiş yüksək möhkəmliyi ilə fərqlənən ilkin aqreqatlardır.



**Şəkil 11. TK nanohisəciklərinin (aqreqatların və aqlomeratların) SEM təsviri.**

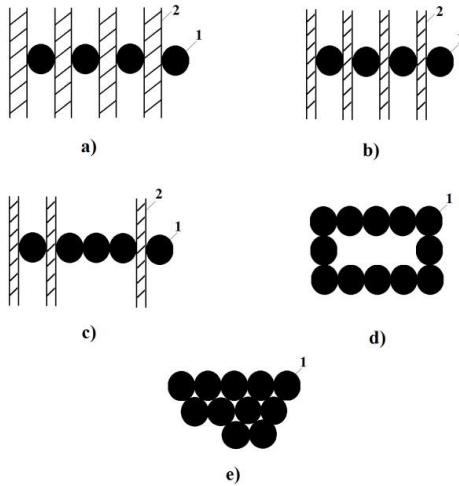
Şəkil-12-də Qr nanohisəciklərinin SEM şəkli təqdim edilmişdir. Şəkildən Qr hissəciklərində qrafen laylarının olduğunu görmək olur. Məlumdur ki, karbon dörd valent elektronuna malikdir. Bununla belə, dörd elektrondan yalnız üçü qrafidə kovalent əlaqələrin yaranmasında iştirak edir, buna görə də hər bir karbon atomu yalnız üç karbonla bağlanır. Cütləşməmiş halda olan dördüncü elektron qrafitin yüksək elektrikkelriciliyini təmin edir.



**Şəkil 12. Qrafit nanohissəciklərinin quruluşunun SEM təsviri**

Şəkil-13(a)-da göstərilən sxematik təsvirə əsasən nanokompozitin sferolitlər arası sahədə elektrikkeçirici quruluşun formalaşması prosesi hətta nanohissəciklərin 1.0-3.0 kütlə% miqdarında başlayır. Bu zaman fazalar arası sahədə PO dielektrik təbəqəsi ilə ayrılmış TK(Qr) nanohissəciklərinin zəncirvari quruluşu əmələ gəlir. Belə bir quruluş əsasən tunel keçiriciliyini təmin edir (şəkil-13, a). Təbii ki, TK(Qr)-nın miqdarının artması ilə nanohissəciklər arasında dielektrik təbəqənin qalınlığının azalması baş verməlidir (şəkil-13, b). Nəhayət, TK(Qr)-nın miqdarının daha da artması nanohissəciklərin bir-biri ilə birbaşa təması ehtimalını yüksəldir və qarışıq-elektron və tunel keçiriciliyin formalaşmasına gətirib çıxarır (şəkil-13, c). Bu halda, onlarda elektron keçiricilik üstünlük təşkil etdiyi "zəncirvari quruluşun" meydana gəlməsi ehtimalı artır. Nanohissəciklər arasında 0.5-1.5 nm qat olsa belə, bu da elektron keçiricilik kimi qəbul edilməlidir. Çox güman ki, YSPE, EHB və ASPE-nin (şəkil-7 və 10) tərkibində TK(Qr)-nın miqdarı 10 kütlə%-ə çatdıqca "zəncirvari klasterlər" meydana gəlir ki, bunun

sayəsində əsasən elektron keçiricilik hesabına, nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyinin maksimal qiyməti əldə edilir (şəkil-13, d).



**Şəkil 13. PO-TK(Qr) əsasında alınan nanokompozitlərdə elektron və tunel keçiriciliyin formalaşmasının sxematik təsviri: a) nanohissəciklər (1) qalın dielektrik qatı ilə ayrılmış (2); b) nanohissəciklər (1) nazik dielektrik qatı ilə ayrılmış (2); c) qarışıq-elektron (1) və tunel (2) keçiricilik; d) zəncirvari klasterlər; e) nanohissəciklərin aqlomeratları (1)**

TK(Qr)-nın miqdarının praktiki olaraq 20 kütlə%-ə qədər sonrakı artımı zamanı elektrikkeçiricilik dəyişməz olaraq qalır. Bu varianta şəkil-13(e)-də göstərilən, nanohissəciklərin aqlomeratlarının formalaşması sxemi uyğun gəlir. PP və RPP-də analogi effekt nanohissəciklərin 15 kütlə% miqdarında əldə edilir. Maksimal elektrikkeçiriciliyə şəkil-13(d)-də göstərilən quruluş variantı uyğun gəlir. Bu zaman nanokompozitlərin elektron keçiriciliyini təmin edən nanohissəciklərin zəncirvari klasterlərinin bütöv quruluşu formalaşır.

Doldurucunun miqdarının daha da artması (10-15 kütlə%-dən yuxarı miqdarda) nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin praktiki olaraq dəyişməməsi bunu sübut edir. Başqa sözlə desək, YSPE, EHB və ASPE əsasında elektrikkeçirici materialın doyma dərəcəsi TK və Qr-nın 10-15 kütlə% miqdarında əldə edilir.

TK və Qr nanohissəciklərinin mexaniki aktivləşdirilməsinin geniş çeşidli PO əsasında nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin dəyişməsinə, dağıdıcı gərginliyin və nisbi uzanmanın qiymətlərinə təsiri nəzərdən keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, TK nanohissəciklərinin mexaniki aktivləşməsi nəticəsində onların səpələnmə sıxlığının 12 dəfə azalması müşahidə olunur. Doldurucunun bərk hissəciklərinin dəyirməyə uyudulması yolu ilə nanokompozitlərin xassələrinin yaxşılaşdırılmasının imkanları göstərilmişdir.

#### **4. Poliolefinlər, texniki karbon, qrafit əsasında alınan elektrikkeçirici termoplastik elastomerlərin (elastoplastların) seqreqasiyalı quruluşu və xassələri**

Bu bölmədə termoplastik PO-lar YSPE, ASPE, PP, RPP, EHB, EBB və BEPB və həmçinin etilen-propilen-dien (EPDE-40) və butadien-stirol (SKS-30) elastomerləri əsasında alınan nanokompozitlərin quruluş xüsusiyyətləri, elektrikkeçiriciliyi, fiziki-mexaniki və termiki deformasiya xassələrinin tədqiqindən əldə edilən nəticələr müzakirə olunmuşdur. Doldurucu olaraq TK, Qr və metaldan istifadə edilmişdir. Təbiidir ki, nanokompozitlərin yüksək elektrikkeçirici xüsusiyyətləri ilə yanaşı nisbətən yaxşı fiziki-mexaniki xassələri saxlaya bilən qarışdırılan komponentlərin optimal miqdarını müəyyən etmək vacib idi. Cədvəl-3-də kompatibilizasiya olunmuş PO və SKS-30 əsasında alınan elastoplastların fiziki-mexaniki xassələri göstərilmişdir. Göründüyü kimi PO-nun növündən asılı olmayaraq elastomerin miqdarı artdıqca möhkəmlik xassələri pisləşir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, hər bir kompozisiyada komponentlərin müəyyən nisbətində fazaların inversiyası baş verir.

**Cədvəl 3**

**PO+SKS-30+PEMA(PPMA) qarışığı əsasında alınan TPE-nin fiziki-mexaniki xassələri**

№	PO-nın tərkibində SKS-30-un miqdarı, kütlə%	Dağıdıcı gərdinlik, MPa	Dartılmada axıcılıq həddi, MPa	Nisbi uzanma, %	Əyilmədə möhkəmlik həddi, MPa	ƏAG, q/10 dəq	Vikaya görə istiliyə davamlılıq, °C	Yunq modulu, MPa
1	<b>YSPE</b>	31.3	29.4	435	34.4	5.6	139	1150
2	YSPE+10SKS+2K <sub>1</sub>	29.5	27.0	435	33.8	7.3	138	725
3	YSPE+20SKS+2K <sub>1</sub>	23.6	23.0	455	29.6	6.2	132	412
4	<b>YSPE+30SKS+2K<sub>1</sub></b>	18.6	18.6	505	25.7	5.5	128	166
5	YSPE+40SKS+2K <sub>1</sub>	14.2	14.2	410	20.5	4.1	119	83
6	YSPE+50SKS+2K <sub>1</sub>	11.7	11.7	350	16.6	3.0	110	-
7	<b>ASPE</b>	9.6	9.0	360	16.2	7.8	85	211
8	ASPE+10SKS+2K <sub>1</sub>	8.9	8.3	370	14.7	9.0	83	181
9	<b>ASPE+20SKS+2K<sub>1</sub></b>	6.4	6.4	370	11.2	7.8	75	104
10	ASPE+30SKS+2K <sub>1</sub>	5.2	5.2	355	8.5	6.2	69	52
11	ASPE+40SKS+2K <sub>1</sub>	4.0	4.0	330	6.6	4.6	65	-
12	ASPE+50SKS+2K <sub>1</sub>	3.3	3.3	265	4.2	3.3	61	-
13	<b>PP</b>	33.0	34.6	30	85.0	3.6	160	1424
14	PP+10SKS+2K <sub>2</sub>	31.1	32.8	45	86.2	5.4	157	1132
15	PP+20SKS+2K <sub>2</sub>	27.5	28.7	55	70.4	4.6	149	543
16	PP+30SKS+2K <sub>2</sub>	20.8	21.6	70	46.6	3.8	136	255
17	<b>PP+40SKS+2K<sub>2</sub></b>	16.7	16.7	55	38.4	3.0	129	188
18	PP+50SKS+2K <sub>2</sub>	12.8	12.8	55	32.3	2.5	123	-
19	<b>EHB</b>	37.4	35.8	810	42.2	5.1	115	1234
20	EHB+10SKS+2K <sub>1</sub>	34.2	32.9	810	40.3	7.4	113	825
21	EHB+20SKS+2K <sub>1</sub>	28.7	27.6	800	36.6	6.1	108	444
22	<b>EHB+30SKS+2K<sub>1</sub></b>	21.2	21.2	800	30.2	4.9	101	203
23	EHB+40SKS+2K <sub>1</sub>	17.5	17.5	560	24.5	3.7	96	95
24	EHB+50SKS+2K <sub>1</sub>	14.6	14.6	455	18.8	2.6	93	-
25	<b>EBB</b>	27.1	28.4	880	38.2	4.6	113	1115
26	EBB+10SKS+2K <sub>1</sub>	24.5	23.3	805	36.9	6.2	111	811
27	EBB+20SKS+2K <sub>1</sub>	19.3	18.5	715	33.5	7.0	105	405
28	<b>EBB+30SKS+2K<sub>1</sub></b>	15.7	15.7	710	26.6	4.5	101	176
29	EBB+40SKS+2K <sub>1</sub>	12.3	12.3	720	19.3	3.2	98	88
30	EBB+50SKS+2K <sub>1</sub>	9.6	9.6	680	14.9	2.8	90	-
31	<b>RPP</b>	28.5	26.4	600	30.4	1.8	131	802
32	RPP+10SKS+2K <sub>2</sub>	25.8	23.3	600	28.6	3.7	128	442
33	RPP+20SKS+2K <sub>2</sub>	22.4	21.5	650	24.2	3.2	122	198
34	RPP+30SKS+2K <sub>2</sub>	17.2	16.9	675	20.3	2.7	117	126



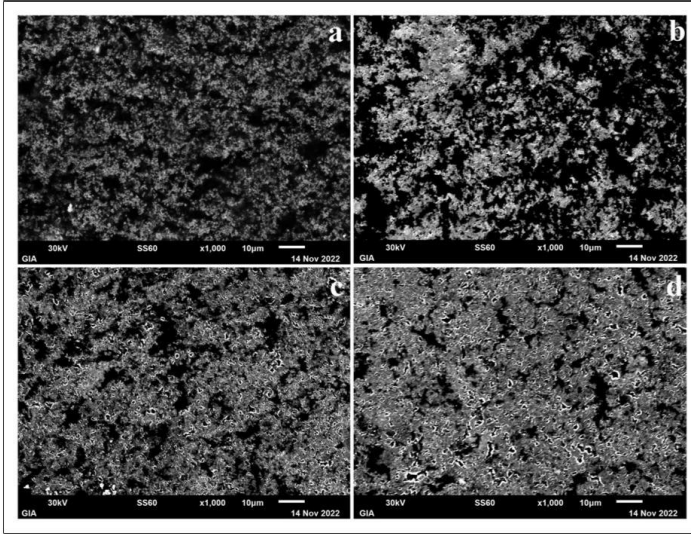
### Cədvəl 3-ün ardı

35	<b>RPP+40SKS+2K<sub>2</sub></b>	13.3	13.3	525	17.3	2.2	111	77
36	RPP+50SKS+2K <sub>2</sub>	10.5	10.5	355	13.2	1.7	106	-
37	<b>BEPB</b>	25.6	26.9	200	26.5	2.9	148	712
38	BEPB+10SKS+2K <sub>2</sub>	23.1	24.4	210	24.8	4.9	145	423
39	BEPB+20SKS+2K <sub>2</sub>	19.8	21.2	235	21.2	4.2	141	219
40	BEPB+30SKS+2K <sub>2</sub>	15.1	16.0	250	17.4	3.5	136	118
41	<b>BEPB+40SKS+2K<sub>2</sub></b>	11.7	11.7	210	13.5	2.8	130	79
42	BEPB+50SKS+2K <sub>2</sub>	9.6	9.6	155	10.2	2.0	122	-

*K<sub>1</sub> – PEMA; K<sub>2</sub> - PPMA*

Göstərilmişdir ki, “termoplast-elastomer” qarışığında dağıdıcı gərginlik ilə dartılmada axıcılıq həddinin qiyməti bərabər olduqda, dispers mühitin dispers fazaya çevrilməsi və ya əksinə inversiya anı baş verir. Bu an, polimer qarışığının dağıdıcı gərginlik və dartılmada axıcılıq həddi kimi xassələrinin öyrənilməsi zamanı aydın şəkildə müəyyən edilə bilər. Məhz fazaların inversiyası anında sistemdəki polimer qarışığı rezin üçün xarakterik olan xassələri əldə edir ki, bu zaman möhkəmlik göstəricilərindəki fərqlər praktiki olaraq yox olur. Bununla belə, PO-nın növündən asılı olaraq TPE-nin formalaşması SKS-in müxtəlif miqdarlarında baş verir. Məsələn, YSPE, EHB və EBB-də bu effekt SKS-in 30 kütlə% miqdarında, PP, RPP və BEPB-də TPE-yə məxsus xassələr SKS-30-un 40 kütlə%, yalnız ASPE-də isə SKS-30-un 20 kütlə% miqdarında əldə edilir.

Yuxarıdakıların təsdiqi olaraq, tərkibində müxtəlif miqdarda SKS olan polimer qarışıqlarının SEM analizinin nəticələrini göstərmək olar. Misal olaraq, şəkil 14-də (a, b, c, d)-də YSPE\*+SKS əsasında polimer qarışıqlarının SEM təsviri verilmişdir. Şəkillərdən görmək olar ki, SKS-in miqdarının 10 kütlə%-dən 40 kütlə%-ə qədər artması zamanı nümunələrin səth quruluşu nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişir. Bu dəyişikliklər, yuxarıda göstəriləyi kimi, TPE-nin xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunan SKS-in 30 kütlə% miqdarı daxil olan nümunələrdə müşahidə edilmişdir (şəkil- 14, c).

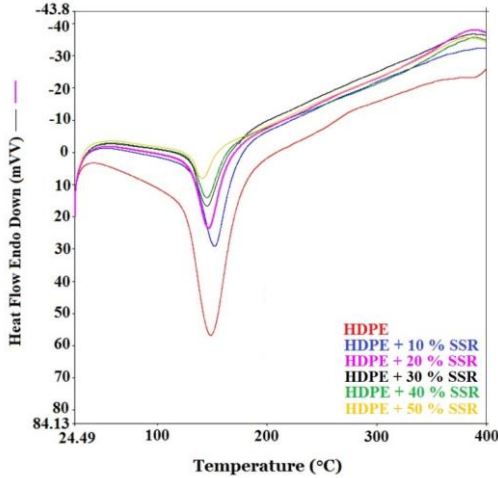


**Şəkil 14. SKS-in müxtəlif miqdarında YSPE\* əsasında TPE qarışığının SEM təsviri: a-10 kütlə% SKS; b-20 kütlə% SKS; c-30 kütlə% SKS; d-40 kütlə% SKS**

SEM təsvirlərinin SKS-in 30 kütlə% və yuxarı miqdarlarındakı qarışıqda rezinə bənzər xüsusiyyətlərin yaranması (şəkil-14, c, d), əslində, faza inversiyasının baş verməsi ilə bağlı arqumentləri, yəni YSPE\* -nin dispers mühitdən dispers fazaya çevrilməsini təsdiqləyir.

Müqayisə üçün, şəkil-15-də tərkibində müxtəlif miqdarda SKS olan YSPE\* polimer qarışıqlarının DSK analizinin nəticələri verilmişdir. Tədqiqatdan alınan məlumatlara əsasən, ərimə entalpiyası ( $\Delta H$ ), J/g hesablanmışdır. Şəkildən görüldüyü kimi, ərimə entalpiyası SKS-in miqdarından asılı (10, 20, 30, 40 kütlə%) olaraq aşağıdakı ardıcılıqla sinxron şəkildə azalır: (ilkin YSPE\*) $\rightarrow$ 177.5; (10%)

→148.9; (20%) →133.5; (30%) →112.1; (40%) →91.4; (50%) →68.3 (J/g).



**Şəkil 15. YSPE\*+SKS-30 polimer qarışıqlarının DSK əyriləri**

Şəkildəki əyrilərin təhlilindən aydın olur ki, SKS-in miqdarı artdıqca, kompozitin kristallik quruluşunun amorflaşmasını göstərən, polimer qarışığın ərimə pikinin hündürlüyü və entalpiyasının qiyməti azalır. Bununla yanaşı müəyyən edilmişdir ki, SKS-in miqdarının 10, 20, 30, 50 kütlə% aralığında artması zamanı, ərimənin başlanğıc, pik və son temperaturu dəyişir. TPE-lərin işlənilib hazırlanması prosesinin kulminasiyası polimer qarışıqlarının kükürlə vulkanlaşmasıdır (cədvəl-4). Bu vəziyyətdə, biz peroksid iştirakında vulkanlaşmadan istifadə imkanını istisna etdik, çünki TPE-də sıx torlu quruluşun formalaşması ƏAG-nın kəskin azalmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir ki, bunun da nəticəsində onların emalı praktiki olaraq qeyri-mümkün olur.

## Cədvəl 4

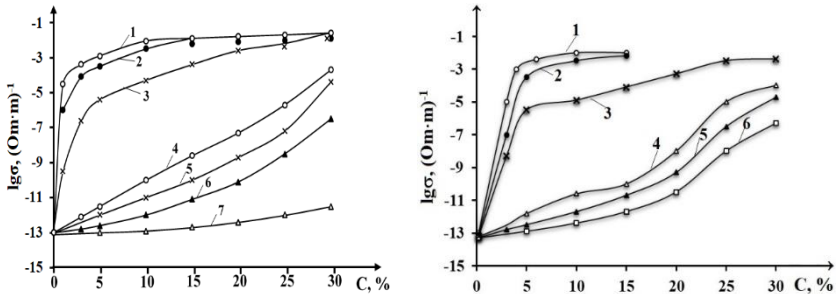
### PO + SKS-30 + kompatibilizator + kükürlə kompozisiyaları əsasında kükürlə dinamik vulkanlaşmış TPE-lərin fiziki və mexaniki xüsusiyyətləri

№	Kompzisiyanın tərkibi, kütlə%	Dağıdıcı gərginik, MPa	Nisbi uzanma, %	Əyilmədə möhkəm- lik həddi, MPa	ƏAG, q/10 daq	Vikaya görə istiliyə davaçılıq, C°
1	YSPE+30SKS+2K <sub>1</sub> +3S	20.8	555	27.4	4.4	130
2	YSPE+30SKS+2K <sub>1</sub> +5S	21.0	550	28.0	3.0	132
3	ASPE+20SKS+2K <sub>1</sub> +3S	8.4	430	12.8	6.2	77
4	ASPE+20SKS+2K <sub>1</sub> +5S	8.7	450	13.1	4.5	78
5	PP+40SKS+2K <sub>2</sub> +3S	18.7	75	40.5	2.4	132
6	PP+40SKS+2K <sub>2</sub> +5S	18.5	75	40.8	0.7	134
7	EHB+30SKS+2K <sub>1</sub> +3S	23.7	800	32.6	3.8	104
8	EHB+30SKS+2K <sub>1</sub> +5S	24.0	800	32.9	2.5	104
9	EBB+30SKS+2K <sub>1</sub> +3S	18.4	810	28.3	2.2	102
10	EBB+30SKS+2K <sub>1</sub> +5S	18.6	780	29.0	1.7	102
11	RPP+40SKS+2K <sub>2</sub> +3S	15.8	600	20.2	1.6	114
12	RPP+40SKS+2K <sub>2</sub> +5S	16.1	600	20.9	0.5	116
13	BEPB+40SKS+2K <sub>2</sub> +3S	13.9	250	16.8	2.1	133
14	BEPB+40SKS+2K <sub>2</sub> +5S	14.2	270	17.5	0.7	134

\*S-kükürlə, K<sub>1</sub> - PEMA; K<sub>2</sub> -PPMA

Cədvəl-4-dən göründüyü kimi, kükürlə tikilmə onların möhkəmlik xassələrinin, nisbi uzanmanın və istiliyə davamlılığının nəzərə çarpacaq dərəcədə yaxşılaşmasına gətirib çıxarır. Polimer qarışıqlarında kükürlə tikilmə prosesi onların isti vərdəndə hazırlanması nəticəsində baş verirdi. Qeyd etmək lazımdır ki, son nəticədə TPE-nin əsas texnoloji xarakteristikası onun təzyiqlə altında tökmə və ya ekstruziya üsulu ilə emal olunma qabiliyyətini xarakterizə edən ƏAG-dır. Buna görə də, vulkanizatların resepturasını seçərkən, ilk növbədə, onların emalının texnoloji xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır.

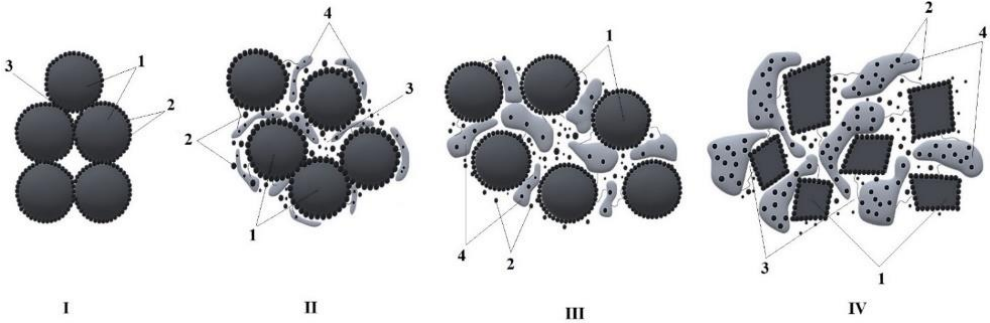
Nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinin mexanizminə və dəyişmə qanunauyğunluğuna ilkin polimer matrisinin kristalliklik dərəcəsinin və doldurucunun növünün rolu haqqında kifayət qədər dolğun təsəvvür əldə etmək üçün şəkil-16 (a,b)-yə müraciət edək.



**Şəkil 16. (a,b) TK (a) və Qr (b)-nin miqdarının YSPE\*+EPDE kompatibilizasiya edilmiş polimer qarışıqlarının elektrikkeçiriciliyinə təsiri: 1-YSPE\*; 2-YSPE\*+10 kütlə% EPDE; 3- YSPE\*+30 kütlə% EPDE; 4- YSPE\*+40 kütlə% EPDE; 5- YSPE\*+50 kütlə% EPDE; 6- YSPE\*+70 kütlə% EPDE; 7- EPDE**

Şəkillərdən görüldüyü kimi, polimer matris olaraq, kompatibilizasiya edilmiş YSPE\*+EPDE əsasında polimer qarışıqlarından istifadə edilmişdir. Bütün nümunələr üçün TK və Qr-nın miqdarı 30 kütlə% təşkil etmişdir. YSPE\* -nin tərkibində EPDE-in miqdarı 10, 30, 40, 50, 70 kütlə% təşkil edir. Şəkil-16 (a,b) -dəki əyrilərin müqayisəli təhlilindən görünür ki, YSPE-nin tərkibində amorf kauçuk komponentinin miqdarının artması ilə nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyi nəzərə çarpan dərəcədə azalır.

Aydınlıq üçün şəkil-17-də TPE nanokompozitlərinin fazalar arası sahəsində baş verən proseslərin sxematik təsvirləri təqdim edilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, TPE-nin tərkibində elastomer



**Şəkil 17. Kükürlə vulkanlaşmadan sonra TPE-nin sferolitlər arası sahəsində nanohissəciklərin (TK və ya Qr) və elastomer komponentinin (EPDE və ya SKS) yenidən paylanmasının sxematik təsviri. 1-krisral sahə; 2-nanohissəciklər; 3-fazalar arası sahə; 4-tikilmiş elastomer. Elastomer komponentin miqdarı: I- elastomersiz poliolefin nanokompoziti; II-10-20 kütlə% miqdarında elastomer saxlayan TPE nanokompoziti; III-30-40 kütlə% miqdarında elastomer saxlayan TPE nanokompoziti; IV- 50 kütlə% elastomer saxlayan nanokompozit.**

komponentin miqdarı artdıqca fazalar arası sahə genişlənir ki, bunun da nəticəsində nanohissəciklərin zəncirvari quruluşunun qismən pozulmasına səbəb olaraq, nanokompozitlərin tunnel elektrikkeçiriciliyinin azalmasına gətirib çıxarır. Yuxarıda göstəriləyi kimi, TPE nanokompozitlərinin kükürlə vulkanlaşması prosesi zamanı tikilmə əsasən elastomer fazada baş verir. Bu səbəbdən güman etmək olar ki, TPE-nin tərkibində tikilmiş elastomerlər PO-nın dispers mühitində bir növ “adalar” kimi görünəcəklər. Elastomer fazasında tikilmə prosesinin aparılması

nəticəsində, nanohissəciklərin bir hissəsinin vulkanizatların tərkibində “okklyudasiya” olunması istisna edilmir.

Müqayisə üçün, TK və Qr doldurucularının YSPE\*+SKS polimer qarışıqlarının elektrikkeçiricilik xassələrinə təsiri öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, bu zaman onların da elektrikkeçiriciliyi YSPE\*+EPDE-40 TPE-əsasında alınan nanokompozitlərdə olduğu kimi təqribən eyni qanunauyğunluq üzrə dəyişir. Hesab etmək olar ki, YSPE\*-nin tərkibində EPDE-40 və ya SKS-30-un məhz 40 kütlə% miqdarında olduğu halda, hətta tunel keçiriciliyinin çətinləşməsinə səbəb olur. Nisbətən qalınlaşmış dielektrik təbəqələrin üstünlük təşkil etməsi, nanohissəciklərin zəncirvari quruluşunun formalaşmasında pozulma prosesinə səbəb olur. Eyni zamanda, qarışıqda elastomer komponentin miqdarının artması ilə, tunel keçiriciliyi saxlamq üçün əhəmiyyətli dərəcədə daha çox miqdarda TK və Qr əlavə etmək lazım olur.

SKS-30+PO\* və ya EPDE-40+PO\* qarışıqları əsasında nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə TK və Qr-nın miqdarının təsirinə öyrənilmişdir. Müxtəlif növ elastomerin istifadə edilməsi, nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliklərinin dəyişməsində polyar və qeyri-polyar komponentlərin rolunu qiymətləndirməyə imkan verdi.

Tədqiqat obyektini olaraq, tərkibində minimum kükürd (3.0 kütlə%) miqdarı saxlayan vulkanlaşdırılmış TPE-lər seçilmişdir ki, bu da onların emalını əlverişli edən, ərintinin özlülüyünü nisbətən aşağı səviyyədə saxlaya bilməsi ilə əlaqədardır. Cədvəl-5-də verilənlərin analizindən aydın olur ki, ilkin PO-nın növündən asılı olmayaraq doldurucuların (TK, Qr, AT və KS) daxil edilməsi TPE nanokompozitlərinin möhkəmlik xassələrinin yüksəlməsinə səbəb olur. Sonuncu hal, onu deməyə əsas verir ki, nəzərdən keçirilən doldurucuların funksiyalarından biri, TPE-nin möhkəmlik xassələrini gücləndirməkdən ibarətdir. Cədvəldən görüldüyü kimi, kükürdlə vulkanlaşma zamanı elektrikkeçiricilik xassələri də yüksək səviyyədə saxlanılır.

**Cədvəl 5**

**Maleinləşdirilmiş PO, SKS, TK, Qr, AT və KS əsasında kükürlə  
dinamiki vulkanlaşmış çoxfunksiyalı TPE nanokompozitlərinin  
fiziki-mexaniki və fiziki-kimyəvi xassələri**

Nanoelastoplastın tərkibi, kütlə%	Elektrikkeçiricilik, ( $\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$	İstilikkeçiricilik əmsalı, $V_t/m\cdot K$	Qopma müqviməti, q/sm	Dəgirdırı gərginlik, MPa	Əyilmədə möhkəmlik həddi, MPa	ƏAG q/10 dəq
YSPE+30SKS+2K <sub>1</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$4.6\cdot 10^{-3}$	3.5	52	27.8	31.8	2.2
ASPE+20SKS+2K <sub>1</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$7.9\cdot 10^{-4}$	3.3	48	13.5	15.9	3.5
PP+40SKS+2K <sub>2</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$2.9\cdot 10^{-3}$	3.4	53	26.4	45.5	1.4
EHB+30SKS+2K <sub>1</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$7.3\cdot 10^{-3}$	3.6	51	30.8	40.6	2.1
RPP+40SKS+2K <sub>2</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$2.8\cdot 10^{-3}$	3.3	49	24.7	29.8	0.9
BEPB+40SKS+2K <sub>2</sub> +20TK+ 1AT+1KS+3S	$2.3\cdot 10^{-3}$	3.1	52	21.5	21.3	1.3
YSPE+30SKS+2K <sub>1</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$6.6\cdot 10^{-3}$	3.3	30	25.5	29.6	3.2
ASPE+20SKS+2K <sub>1</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$4.3\cdot 10^{-3}$	3.5	31	11.6	14.5	5.4
PP+40SKS+2K <sub>2</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$3.3\cdot 10^{-3}$	3.2	31	24.5	41.8	3.9
EHB+30SKS+2K <sub>1</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$8.3\cdot 10^{-3}$	3.3	29	29.5	38.7	4.4
RPP+40SKS+2K <sub>2</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$1.7\cdot 10^{-3}$	3.5	31	23.8	26.5	1.8
BEPB+40SKS+2K <sub>2</sub> +20Qr+ 1AT+1KS+3S	$0.8\cdot 10^{-3}$	3.5	32	20.8	20.0	2.2

**K<sub>1</sub>- PEMA; K<sub>2</sub>-PPMA; TK-texniki karbon, Qr-qrafit; AT-alüminium tozu;  
KS- kalsium stearat; S-kükürd.**



Bundan əlavə, ƏAG nanokompozitlərin mühüm texnoloji göstəricisi hesab olunur və Qr saxlayan nanokompozitlərdə yüksək qiymətlə fərqlənir. Bu onunla izah edilir ki, Qr laylı quruluşa malikdir və ərintidə termomexaniki təsirin nəticəsində, nanokompozitlərin ƏAG göstəricisinin yaxşılaşması üçün daha kiçik hissəciklərə parçalanır.

Digər mühüm göstərici, AT nanohissəciklərin tətbiqi ilə əhəmiyyətli dərəcədə artan tikilmiş TPE nanokompozitlərin istilik keçiriciliyidir. Qeyd etmək kifayətdir ki, əgər ilkin PO-nın istilik keçiriciliyi  $0.25-0.48 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$  aralığında dəyişirsə, cədvəl-5-dəki məlumatlara əsasən nanokompozitin tərkibinə AT-nın daxil edilməsi ilə TPE nanokompozitlərinin istilik keçiriciliyi orta hesabla 20 dəfə olmaqla,  $3.1-3.6 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$  qədər əhəmiyyətli dərəcədə artmış olur. Eyni zamanda, AT-nın nanohissəcikləri istilik keçiriciliyinin artırılmasında ən böyük rol oynayır, çünki onun istilik keçiriciliyi  $230 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$ , quru TK-da isə bu göstərici cəmi  $0.07-0.12 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$ -dir. Cədvəl-5-i təhlil edərək müəyyən etmək olar ki, TK tərkibli nanokompozitlərlə müqayisədə, Qr tərkibli nümunələr qorpa müqavimətinə görə nisbətən aşağı qiymətləri ilə xarakterizə olunur. Bu hal onunla izah olunur ki, Qr tərkibli kompozitlər öz təbiətinə görə sürtünməyə davamlı materiallar sırasına aid edirlər. Müəyyən bir analogiya var: polimer kompozitin sürtünmə müqaviməti nə qədər yüksəkdirsə, adgeziv-substrat sistemində yapışma qüvvələri də bir o qədər aşağı olur.

## **5. Poliolefinlər əsasında çoxkomponentli elektrikkeçirici nanokompozitlərin mexaniki-kimyəvi sintezinin texnoloji xüsusiyyətləri**

YSPE, ASPE, RPP və BEPB əsasında bir sıra nanokompozitlər üçün təzyiq altında tökmə prosesinin texnoloji rejimləri hazırlanmışdır. Göstərilmişdir ki, tökmə təzyiqinin, material silindrinin temperatur rejiminin və təzyiq altında saxlama müddətinin yüksəlməsi ilə nanokompozitlərin möhkəmlik göstəricilərinin və nisbi uzanmasının artması müşahidə olunur. Doldurucu kimi, TK, AT-dan

istifadə edilmişdir. Press-qəlibin formalaşan hissəsinə litnikin nümunələrə nisbətən yerləşməsinin təsiri nəzərdən keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qəlibin formalaşan hissəsində uzununa yerləşən nümunələr, nisbətən daha yaxşı fiziki-mexaniki xassələri ilə xarakterizə olunurlar.

Material silindrinin temperatur rejiminin, şnekin dövrlərinin sayı, ekstruziya təzyiqinin təsiri nanokompozitlərin dağıdıcı gərginliyinin, nisbi uzanmasının və materialın ƏAG dəyərləri əldə edilmişdir.

Dinamiki vulkanlaşmış reaksiyalı “monotrem” ekstruziya prosesi zamanı kükürd və peroksidin miqdarından asılı olaraq nanokompozitlərin izotrop xassələrə malik yeni növ polimer materialların alınmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

RPP və BEPB əsasında nanokompozitlərinin reaksiyalı ekstruziya prosesinə vulkanlaşma agentinin (kükürdün) təsiri nəzərdən keçirilmişdir. Vulkanlaşdırılmış nanokompozitlərin xassələrinin nisbətən yüksək qiymətləri əldə edilmiş, kükürün optimal miqdarı müəyyən edilmişdir. Dağıdıcı gərginliyin və nisbi uzanmanın təbəqə materialının ekstruziyanın uzununa və eninə öyrənilməsi, nanokompozitlərin vulkanlaşmasının xassələrin izotropiyasına töhfə verdiyini müəyyən etməyə imkan verdi.

İlk dəfə olaraq aparılan tədqiqatlar nəticəsində mexaniki-kimyəvi sintez yolu ilə alınan çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin təsnifatı verilmişdir. Göstərilmişdir ki, nanokompozitlərin tərkibindən və komponentlərin miqdarından asılı olaraq alınan nanokompozitlər keçirici, yarımkeçirici və antistatik materiallar kimi elektronikanın müxtəlif sahəsində istifadə oluna bilər. Beləliklə, qeyd etmək olar ki, tərəfimizdən hazırlanmış nanokompozitləri elektrikkeçiricilik xüsusiyyətlərinə görə aşağıdakı kimi 3 sinfə bölmək olar: keçiricilər -  $\sigma=10^{-2}-10^{-3}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ , yarımkeçiricilər -  $\sigma=10^{-4}-10^{-6}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ , antistatiklər -  $\sigma = 10^{-6}- 10^{-9}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ .

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Metalların (alüminium və mis) geniş çeşidli kompatibilizasiya edilmiş YSPE\*, ASPE\*, PP\*, EHB\*, EBB\*, RPP\*, BEPB\* əsasında hazırlanmış nanokompozitlərin kompleks fiziki-mexaniki, reoloji, adgeziya və istilik-fiziki xassələrinə selektiv təsiri öyrənilmişdir. Möhkəmlik xassələrinin, istilik keçiriciliyinin və metalla doldurulmuş sistemlərin mis və alüminium substratın səthindən qopma müqavimətini artırmaq üçün əsas imkanlar göstərilmiş və adgeziv-substrat adgeziya kontaktının mexanizmi analiz edilmişdir [2-21,24,29-31, 33,34, 40,42,44,45].
2. TK və qrafitin müxtəlif tip növlərindən ən effektiv elektrikkeçirici doldurucular kimi: Printex XE 2B markalı TK və ΓC-2 markalı qrafit olduğu müəyyən edilmişdir. İlk dəfə olaraq, göstərilmişdir ki, geniş çeşidli PO əsasında olan nanokompozitlərin seqreqasiyalı quruluşunun formalaşmasına PEMA, PPMA və TK-nın miqdarı həlledici təsir edir. Elektrikkeçirici nanokompozitlərin dartılma zamanı axıcılıq həddi, dağıdıcı gərginlik, nisbi uzanma, əyilmədə möhkəmlik həddi, ƏAG və istilyə davamlılığının dəyişmə qanunauyğunluqları sistemli şəkildə təhlil edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, ən yaxşı möhkəmlik xüsusiyyətləri YSPE\*, PP\*, RPP\*, EHB\*, EBB\*, BEPB\*-nin tərkibinə 5.0 kütlə% TK daxil edilməklə əldə edilir. ASPE\* əsasında olan kompozitlərdə bu effekt TK-nın 10-15 kütlə% miqdarında nail olunur. YSPE və TK əsasında alınmış nanokompozitlərin termomexaniki xassələri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, TK-nın miqdarının 1.0 kütlə%-dən 20 kütlə%-ə qədər artması ilə birinci növ faza keçidinin temperaturu 138-dən 142°C-ə qədər yüksəlir. Derivatoqrafik analiz metodu ilə göstərilmişdir ki, TK-nın miqdarının 1.0 kütlə%-dən 20 kütlə%-ə qədər artması zamanı nanokompozitlərin ərimə temperaturunun qiyməti aşağıdakı ardıcılıqla dəyişir: 148, 146, 149, 143°C [41,47,51,52].

3. Qrafitin miqdarının nanokompozitlərin seqreqasiyalı quruluşunun formalaşmasına təsiri öyrənilmiş, PO əsasında kompatibilizasiya edilmiş nanokompozitlərin fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin sistemli təhlili aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, PO-lar əsasında nanokompozitlərdə ən yaxşı möhkəmlik xüsusiyyətləri qrafitin 3.0-5.0 kütlə% miqdarında əldə edilir. Bu halda ASPE\* əsasında nanokompozitlərdə maksimal effekt qrafitin 15 kütlə% miqdarında qeydə alınır **[47,51,52]**.
4. Kompatibilizasiya olunmuş PO-lar əsasında çoxkomponentli nanokompozitlərin dartılma zamanı axıcılıq həddi, dağıdıcı gərginlik, nisbi uzanma, istiliyə davamlılıq, əyilmədə möhkəmlik həddi kimi fiziki-mexaniki göstəricilərinə TK və qrafit, AT və misin miqdarının birgə təsiri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, çoxkomponentli nanokompozitlərin möhkəmlik xassələrinin maksimal qiymətləri istifadə olunan PO-nın tərkibinə daxil edilən komponentlərin nisbətindən dəyişdirilməsi ilə tənzimlənir. Müəyyən edilmişdir ki, PO əsasında çoxkomponentli doldurulmuş sistemlərdə PEMA və PPMA kompatibilizatorunun istifadə edilməsi möhkəmlik xüsusiyyətlərini nisbətən yüksək səviyyədə saxlamağa imkan verir. Eyni zamanda, kalsium stearat və ya sink stearatın 1.0 kütlə%-ə qədər miqdarda daxil edilməsi çoxkomponentli nanokompozitlərin texnoloji xassələrini yaxşılaşdırır və ƏAG-nin kifayət qədər yaxşı səviyyədə saxlayır. Bununla yanaşı, müəyyən edilmişdir ki, çoxkomponentli nanokompozitlərdə kükürd (3.0-7.0 kütlə %) və peroksid iştirakında vulkanlaşma prosesinin (0.5 %-ə qədər) həyata keçirilməsi, onların möhkəmlik xüsusiyyətlərini, nisbi uzanma qabiliyyətini və istiliyə davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır **[36,49]**.
5. PO əsasında AT tərkibli kompozitlərin qopma müqavimətinə TK-nın miqdarının təsiri öyrənilmiş və adgeziya möhkəmliyinin maksimal qiyməti TK-nın 5.0-12 kütlə% aralığında əldə edilmişdir. Kompatibilizatorun istifadəsi kompozitlərin qopma müqavimətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Presləmənin temperatur rejiminin alüminium və mis folqa səthində PO

əsasında nanokompozitlərin adgeziyanın dağılma növünə təsiri müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdi ki, istifadə olunan PO-nın növündən asılı olmayaraq, TK və Al və ya TK və Cu-nın doldurucu kimi eyni vaxtda istifadəsi kogeziya dağılma növünün əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur [32,37,39,40,42].

6. PO sinfi üçün nanokompozitlərin seqreqasiyalı quruluşunda elektrikkeçiriciliyin formalaşma mexanizminin öyrənilməsi üçün yeni elmi yanaşmalar təqdim olunmuşdur. Geniş çeşidli PO və kompatibilizatorlardan nümunə kimi (PEMA və PPMA) istifadə etməklə ilk dəfə olaraq TK və Qr-nın miqdarının nanokompozitlərin elektrikkeçiriciliyinə selektiv təsiri müəyyən edilmişdir. Nanokompozitlərin quruluşunun RFA, elektron mikroskopiya və SEM - analizlərinin nəticələri onlarda tunel və ya elektron keçiriciliyin formalaşma mexanizmi haqqında kifayət qədər aydın təsəvvür əldə etməyə imkan verir. Alınmış məlumatlara əsasən, müxtəlif elektrikkeçiriciliyə malik nanokompozitlərin 3 sinfi fərqləndirilmişdir: keçiricilər  $\sigma = 10^{-2}-10^{-3} (\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ , yarımkəçiricilər  $\sigma = 10^{-4}-10^{-6} (\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$  və antistatiklər  $\sigma = 10^{-7}-10^{-9} (\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$  [1,23,38,46,47,52,53].
7. Nümunə kimi YSPE-dən istifadə etməklə, pilləli dilatometriya metodunun köməyi ilə göstərilmişdir ki, TK və Qr-nın miqdarı birinci növ faza keçidinə və elektrikkeçirici nanokompozitlərin kristallaşmasının kinetik qanunauyğunluqlarına əhəmiyyətli təsir göstərir. Kolmaqorov-Avrami tənliyinə uyğun olaraq nanokompozitlərdə kristalların boy atma mexanizmi TK və Qr-nın miqdarından asılı olaraq tədqiq edilmiş və aydınlaşdırılmışdır ki, nanohissəciklərin miqdarının 1.0-dən 20 kütlə %-ə qədər artması ilə şüşələnmə temperaturu (ikinci növ faza keçidi) -110-dan -15°C-ə qədər yüksəlir və kristallaşma mərkəzlərinin davamlı formalaşması ilə kristalların boy atma mexanizmi 3D (üçölçülü) sferolitdən 2D (ikiölçülü) diskşəkilliyə qədər dəyişir [1,46,48,50].

8. Nanokompozitlərin istilik-fiziki xüsusiyyətlərinin DTA üsulu ilə tədqiqi göstərdi ki, YSPE\* - nin tərkibində TK və qrafitin miqdarının 1.0-dən 15 kütlə%-ə qədər artması ilə onların ərimə və termiki parçalanma temperaturları artır. Lakin, TK və qrafitin 20 kütlə% miqdarında nanokompozitlərin ərimə və termiki destruksiya temperaturlarının eyni zamanda azalması ilə müşayiət olunan əks proses də müşahidə edilir. TK və qrafit nanohissəciklərinin mexaniki aktivləşdirilməsinin PO əsasında alınan nanokompozitlərdə elektrikkeçiriciliyinin, dağıdıcı gərginliyinin və nisbi uzanmanın dəyişməsinə təsiri öyrənilmiş və bu zaman TK nanohissəciklərinin səpələnmə sıxlığının 12 dəfə azalması qeydə alınmışdır. Planetar dəyirmanında bərk doldurucu hissəciklərin mexaniki aktivləşdirilməsi yolu ilə nanokompozitlərin xassələrinin yaxşılaşdırılmasının əsas prinsiplial imkanları göstərilmişdir [35,41,46,48,50,52].
9. Müəyyən edilmişdir ki, SKS-30 və ya EPDE-40 elastomer komponentinin PO-nun tərkibinə daxil edilməsi rezin üçün xarakterik olan yüksək elastiki deformasiya nahiyəsi ilə xarakterizə olunan TPE-nin alınmasına səbəb olur. TPE-də SKS-in miqdarının artması ilə kristalliklik dərəcəsinin, möhkəmlik, reoloji və istilik-fiziki xüsusiyyətlərin müntəzəm azalması müşahidə olunmuşdur. Termomexaniki tədqiqatların nəticələri göstərdi ki, PO və elastomerin müəyyən nisbətlərində rezin üçün xarakterik olan yüksək elastiki vəziyyət nahiyəsinin eyni vaxtda formalaşması ilə fazaların inversiyası baş verir. YSPE+SKS əsasında kompozit üçün gərginlik-deformasiya diaqramının qurulması təsdiq etmişdir ki, elastomer komponentinin 30 kütlə% və daha çox miqdarda əlavələr rezin üçün xarakterik olan S-tipli asılılığın formalaşmasına səbəb olur [43,47,49,51,52].
10. Doldurulmuş və doldurulmamış TPE-nin kükürd iştirakında vulkanlaşması onların möhkəmlik və istilik-fiziki göstəricilərinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Vulkanlaşdırılmış TPE-nin tərkibində TK və ya qrafit nanohissəciklərinin, həmçinin AT və kalsium stearatın birgə

istifadəsi, yüksək möhkəmlik xüsusiyyətləri, istilik keçiriciliyi, istiliyə və sürtünməyə davamlılığı ilə fərqlənən çoxfunksiyalı dinamik vulkanlaşmış elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınmasına imkan vermişdir [43,48,50].

11. Göstərilmişdir ki, müxtəlif termoplast-elastomer nisbətlərinə malik TPE nanokompozitlərinin elektrikkeçiriciliyinə TK və ya qrafitin miqdarı təsir edir və elastomer komponentin artması ilə TPE nanokompozitlərinin elektrikkeçiriciliyində nəzərə çarpacaq dərəcədə azalma müşahidə olunur. Bu səbəbdən də, TPE nanokompozitlərinin elektrikkeçiriciliyini yüksək səviyyədə saxlamaq üçün nisbətən yüksək miqdarda TK və ya qrafitin istifadə edilməsi tələb olunur. Elektron mikroskopiya, DTA, pilləli dilatometriya, RFA, SEM, fiziki-mexaniki və termiki deformasiya analizlərinin nəticələri, qarışdırılan komponentlərin nisbətindən asılı olaraq TPE-nin fazalararası sahəsinin dəyişən seqreqasiyalı quruluşunun şərh üçün yeni elmi yanaşmaların işlənilib hazırlanmasına imkan vermişdir [46,49].
12. YSPE\*, ASPE\* və EHB\* əsasında bir sıra elektrikkeçirici nanokompozitlər üçün təzyiqlərdə tökmə prosesinin texnoloji rejimləri işlənilib hazırlanmışdır. Göstərilmişdir ki, doldurucu olaraq TK, AT və kompatibilizator istifadə etdikdə, tökmə təzyiqinin, material silindrinin temperatur rejiminin, qəlibin temperaturunun və təzyiqlərdə saxlama müddətinin artması ilə nanokompozitlərin möhkəmlik xüsusiyyətlərinin və nisbi uzanmasının müəyyən qədər artması baş verir [26,28].
13. RPP\*, BEPB\* və TK əsasında elektrikkeçirici nanokompozitlərin kükürd və peroksid kimi vulkanlaşdırıcı agentlərin müəyyən miqdarında ekstruziya prosesinin texnoloji rejiminin təsiri nəticəsində izotrop xüsusiyyətlərə malik yeni növ dinamik vulkanlaşdırılmış polimer materiallar əldə edilmişdir. Material silindrinin optimal temperatur rejimi, şnekin dövrlərinin sayı və ekstruziya təzyiqinin optimal qiymətləri müəyyən edilmişdir ki, bu zaman nanokompozitlərin

dağıdıcı gərginliyinin və nisbi uzanmasının nisbətən yüksək göstəriciləri təmin edilir. Qarşılıqlı əməkdaşlıq müqaviləsinə əsasən, Azərbaycanda plastik məmulatların aparıcı istehsalçılarından biri olan “METAK” MMC-də sənaye sınaqları həyata keçirilmişdir. Elektrikkeçirici nanokompozitlərin alınmasına dair müsbət sınaq aktları və laboratoriya rəqlamenti təqdim edilmişdir [22,26,36].

14. PO və TPE əsasında çoxfunksiyalı elektrikkeçirici nanokompozitlərin təsnifatı, habelə onların təyinatı üzrə istifadəyə dair tövsiyələr təqdim olunmuşdur. Təqdim olunan təsnifata əsasən, elektrikkeçiriciliyə görə birinci yeri tərkibində 5.0-10 kütlə% TK və ya qrafit olan kompatibilizasiya edilmiş PO nanokompozitləri tutur ki, onlar üçün elektrikkeçiricilik  $10^{-2}(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$ -ə bərabərdir. Hazırlanmış elektrikkeçirici nanokompozitlər elektron və radiotexnika sənayesi, maşınqayırma, aviasiya, hərbi və kosmik texnika üçün konstruksiya materialları kateqoriyasına aiddir. Hazırlanmış çoxfunksiyalı elektrikkeçirici TPE nanokompozitləri radar əleyhinə örtüklər, foto elektrik generatorlar, batareyalar, üzvi günəş batareyaları, çevik və şəffaf displeylər, elektromaqnit ekranlar və antistatik materiallar kimi istifadə üçün tövsiyə oluna bilər [1,46,47,50,51].

#### **Dissertasiya işi üzrə dərc edilmiş elmi əsərlər:**

1. Kakhramanov, N.T. On preparation of polymer composites with improved electro-physical and physical-mechanical properties / N.T.Kakhramanov, Kh.V.Allahverdiyeva, D.R.Nurullayeva // Chemical Problems, – Baku: – 2019. №1(17), – p. 26-40.
2. Allahverdiyeva, X.V., Heydərova G.D., Əliyeva S.S., Qəhrəmanov N.T. Aşağı sıxlıqlı polietilen və alüminium tozu əsasında alınan kompozitlərin kristallaşmasının kinetik qanunauyğunluğunun tədqiqi // AMEA-nın akademik Y.N.Məmmədəliyev adına Neft Kimya Prosesləri İnstitutunun 90 illik yubileyinə həsr edilmiş “Müasir kimyanın aktual



- problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfrans, – Bakı: – 2-4 oktyabr, – 2019, – s. 260.
3. Allahverdiyeva, X.V., Heydərova G.D., Əliyeva S.S., Qəhrəmanov N.T. Qeyri-üzvi doldurucu və aşağı sıxlıqlı polietilen əsasında alınmış kompozitlərin fiziki-mexaniki xassələrinin tədqiqi // AMEA-nın akademik Y.N.Məmmədəliyev adına Neft Kimya Prosesləri İnstitutunun 90 illik yubileyinə həsr edilmiş “Müasir kimyanın aktual problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfrans, – Bakı: – 2-4 oktyabr, – 2019, – s. 267.
  4. Аллахвердиева, Х.В., Гейдарова, Г.Д., Алиева, С.С. Термомеханические характеристики композитов на основе алюминиевой пудры и полиэтилена низкой плотности // Посвящается 70-летию юбилею города Сумгаита, Тезисы и Материалы Международной научной конференции «Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии», – Сумгаит: – 28-29 ноябрь, – 2019, – с. 245-246.
  5. Аллахвердиева, Х.В., Гусейнова, З.Н. Термомеханические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и мелкодисперсного порошка меди // Посвящается 70-летию юбилею города Сумгаита, Тезисы и Материалы Международной научной конференции «Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии», – Сумгаит: – 28-29 ноябрь, – 2019, – с. 189-190.
  6. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т. Термомеханические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и алюминиевой пудры // IX International Scientific Conference “General question of world science”, – Luxembourg: – 30 november, – 2019, – p. 48-49.
  7. Allahverdiyeva, X.V., Qəhrəmanov, N.T., Namazlı, Ü.V. Metal-polimer sistemləri əsasında alınan kompozit materialların fiziki-mexaniki xassələri // “Azərbaycan və Türkiyə

- Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya” I Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, – Bakı: – 18-20 dekabr, – 2019, – s. 85-86.
8. Аллахвердиева, Х.В. Кинетические закономерности кристаллизации металлополимерных композитов на основе меди и полиэтилена низкой плотности / Х.В.Аллахвердиева, Н.Т.Кахраманов // Композиты и наноструктуры, – Черногоровка: – 2020. Т. 12, Выпуск. 1(45), – с. 8-13.
  9. Allahverdiyeva, Kh.V. Influence of aluminum powder concentration on mechanism and kinetic regularities of crystallization of composites based on low density polyethylene / Kh.V. Allahverdiyeva, N.T. Kakhramanov, M.I. Abdullin [et al.] // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol., – Ivanovo: – 2020. Vol. 63, №2, – p. 77-83.
  10. Allahverdiyeva, Kh.V. Thermomechanical Properties of Composites and Their Vulcanizates Based on High Density Polyethylene and Copper / Kh.V. Allahverdiyeva, N.T. Kakhramanov, M.I. Abdullin [et al.] // New Materials, Compounds and Applications, – Baku: – 2020. Vol.4, №2, – p.141-149.
  11. Аллахвердиева, Х.В. Термомеханические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и алюминиевой пудры / Х.В.Аллахвердиева, Н.Т.Кахраманов // Все материалы. Энциклопедический справочник, – Москва: – 2020. №5. – с.14-19.
  12. Allahverdiyeva, Kh.V. Physicomechanical properties of composit materials on basis of copper and polyolefins // – Ivanono: Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol., – 2020. Vol. 63, №10, Issue 10, – p. 71-77.
  13. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т. Намазлы У.В. Влияние концентрации алюминиевой пудры на термодформационные свойства композитов и их вулканизатов на основе полиэтилена низкой плотности // Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Материалы XV Международного симпозиума, – Москва: – 8-10 сентября, – 2020, – с. 50-56.

14. Аллаhverдиева, Х.В., Абдалова, С.Р., Кахраманов, Н.Т. Свойства металлополимерных систем на основе полиэтилена низкой плотности и меди // Молодеж в науке. Тезисы докладов XVII Международной конференции молодых ученых, – Минск: – 22-25 сентября, – 2020, – с. 483-485.
15. Аллаhverдиева, Х.В., Кахраманов Н.Т. Термодеформационные свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и алюминиевой пудры // «Перспективные технологии и материалы» Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, – Севастополь: – 14-16 октября, – 2020, – с. 38-40.
16. Аллаhverдиева, Х.В. Механизм и кинетика ступенчатой кристаллизации композитов на основе полиэтилена высокой плотности и алюминия / Х.В.Аллаhverдиева, Н.Т.Кахраманов, У.В.Намазлы // Все материалы. Энциклопедический справочник, – Москва: – 2020. №12, – с. 2-7.
17. Allahverdiyeva, Kh.V. Thermomechanical properties of composites based on high density polyethylene and aluminum / X.V.Allahverdiyeva, N.T.Kakhramanov, U.V.Namazly // Polymer Science, Series D, – United States: – 2021. V.14, №.4, – p. 598-602.
18. Allahverdiyeva, Kh.V. Kinetic Regularities of Crystallization of Copper-Containing Composites Based on High Density Polyethylene and the Graft Copolymer // – Baku: Processes of Petrochemistry and Oil Refining, – 2021. Vol. 22, № 3, – p. 392-398.
19. Аллаhverдиева, Х.В., Кахраманов Н.Т., Исмаилов И.А. Физико-механические свойства композитов на основе полиэтилена различных типов и алюминия // Кирпичниковские чтения -XV Международная конференция молодых ученых, студентов и аспирантов «Синтез и исследование свойств, модификации и

переработка высокомолекулярных соединений» к 50- летию Института Полимеров посвящается, – Казань: – 29 марта-02 апреля, – 2021, – с. 5-1.

20. Аллахвердиева, Х.В. Адгезионные свойства алюминий-содержащих полимерных композитов, полученных методом механо-химической модификации / – Москва: Перспективные материалы, – 2021. №10, – с. 27-34.
21. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов Н.Т. Деформационные свойства металлонаполненных композитов на основе полиэтилена высокой плотности // Перспективные технологии и материалы. Материалы международной научно-практической конференции, – Севастополь: – 6-8 октября, – 2021, – с. 34-37.
22. Кахраманов, Н.Т. Технологические особенности реакционной динамической экструзии нанокompозитов на основе полиолефинов, алюминия и технического углерода / Н.Т.Кахраманов, Х.В.Аллахвердиева // Пластические массы, – Москва: – 2021. №9-10, – с. 34-38.
23. Allahverdiyeva, X.V., Polimer Kompozisiyası, İxtira İ 2022 0037, Azərbaycan Respublikası / Qəhrəmanov N.T.: – 2021, – №8.
24. Allahverdiyeva, Kh.V. Physical-mechanical properties of nanocomposites based on graphite and modified polyolefins / – Baku: Chemical Problems, – 2021. № 4(19). – p. 232-240.
25. Kakhramanov, N.T. Adhesive feature of functionalized metal-polymer systems based on polyolefins / N.T. Kakhramanov, Kh.V. Allahverdiyeva, N.S. Koseva // Polymer Science, Series D, – United States: – 2022. Vol. 15, №1, – p. 19-24.
26. Kakhramanov, N.T. Theoretical aspects of the injection molding process of multicomponent nanocomposites based on polyolefins / N.T. Kakhramanov, Kh.V. Allahverdiyeva, F.A. Mustafayeva [et al.] // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol, – Ivanovo: – 2022. Vol.65, №1, – p. 83-91.
27. Allahverdieva, Kh.V. Thermal Strain Properties of Metal-Polymer Composites Based on Low-Density Polyethylene and

- Copper / Kh.V. Allahverdieva, N.T. Kakhramanova, N.B. Arzumanova [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*, – London: – 2022. Vol. 13, №1, – p. 116–120.
28. Аллахвердиева, Х.В. Физико-механические свойства нанокompозитов на основе смеси графита, технического углерода и металлонаполненных полиолефинов / Х.В.Аллахвердиева, Н.Т.Кахраманов, М.И.Абдуллин [и др.] // *Пластические массы*, – Москва, – 2022. №1-2, – с. 37-40.
29. Allahverdiyeva, Kh.V. Rheological properties of metal-filled systems based on high density polyethylene and aluminum / Kh.V. Allahverdiyeva, N.T. Kakhramanov, M.I. Abdullin [et al.] // *Azerbaijan Chemical Journal*, – Baku: – 2022. №2, – p.40-46.
30. Аллахвердиева, Х.В., Намазлы, У.В., Кахраманов, Н.Т. Физико-механические свойства нанокompозитов на основе низкой плотности и алюминия // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии»*, – Минск: – 23-24 март, – 2022, – с. 448-451.
31. Кахраманов, Н.Т., Аллахвердиева, Х.В., Намазлы, У.В. Реологические особенности нанокompозитов на основе полиэтилена низкой плотности и алюминиевой пудры // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии»*, – Минск: – 23-24 март, – 2022, – с. 147-150.
32. Аллахвердиева Х.В., Кахраманов, Н.Т. Влияние концентрации технического углерода на адгезионные свойства нанокompозитов на основе полиэтилена низкой плотности и металлов // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии»*, – Минск: – 23-24 март, – 2022, – с. 488-491.
33. Allahverdiyeva, Kh.V. Rheological properties of metal-filled systems based on low-density polyethylene and aluminum / Kh.V. Allahverdiyeva, N.T. Kakhramanov, M.I. Abdullin //

- Inorganic Materials: Applied Research, – London: – 2022. Vol. 13, №5, – p. 1340-1345.
34. Кахраманов, Н.Т. Физико-механические свойства металлополимерных систем на основе полипропилена / Н.Т.Кахраманов, Х.В.Аллахвердиева // Пластические массы, – Москва: – 2022. №5-6, – с.36-38.
  35. Аллахвердиева, Х.В. Физико-механические свойства нанокompозитов на основе технического углерода и модифицированных полиолефинов // – Москва: Материаловедение, – 2022. № 6, – с. 42–48.
  36. Кахраманов, Н.Т. Физико-механические свойства многокомпонентных нанокompозитов на основе полиолефинов / Н.Т.Кахраманов, Х.В.Аллахвердиева, Ю.Н.Кахраманлы [и др.] // Перспективные материалы, – Москва: – 2022. № 7, – с. 58-65.
  37. Кахраманов, Н.Т. Адгезионные свойства металлонаполненных функционализированных нанокompозитов на основе полипропилена / Н.Т.Кахраманов, Х.В.Аллахвердиева, Ф.А. Мустафаева // Клеи. Герметики. Технологии, – Москва: – 2022. № 7. – с. 14-20.
  38. Kakhramanov, N.T. Structure and Properties of Conducting Composites Based on Polyolefins and Carbon Black / N.T. Kakhramanov, Kh.V. Allahverdiyeva, F.A. Mustafayeva // Russian Journal of Applied Chemistry, – New York: – 2022. Vol. 95, №8, – p. 1148-1154.
  39. Аллахвердиева, Х.В. Влияние концентрации технического углерода на адгезионные свойства нанокompозитов на основе полиолефинов и металлов / Х.В. Аллахвердиева, Н.Т. Кахраманов, А.А. Гасанова // Материаловедение, – Москва: – 2022. №11, – с. 20-27.
  40. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т. Композиты на основе полиэтилена низкой плотности и алюминия // Materials science of the future: research, development, scientific training, – Nizhny Novgorod: – 5-7 april, – 2022, – p. 136.

41. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т. Термодефармационные свойства нанокompозитов на основе малеинизированного полипропилена и технического углерода // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cü ildönümünə həsr olunmuş beynəlxalq elmi konfrans “Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri”, – Gəncə: – 2 may, – 2022, – s. 258-259.
42. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т., Намазлы, У.В. Адгезионные свойства нанокompозитов на основе полиолефинов и металлов // Akademik Nadir Mir-İbrahim oğlu Seyidovun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş respublika elmi konfransı “Katalizatorlar, olefinlər əsaslı yağlar”, – Bakı: – 19-20 may, – 2022, – s. 159.
43. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т., Гулиева, О.М. Физико-механические свойства многофункциональных наноэластопластов на основе смесей различных полиолефинов и бутадиен-стирольного эластомера // Ətraf mühitin mühafizəsi, sənaye və məişət tullantılarının təkrar emalı mövzusunda respublika konfransı, –Gəncə: – 24-25 noyabr, – 2022, – s. 80-82.
44. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т., Багирова У.В. Структура и свойства электропроводящих нанокompозитов на основе полиолефинов / Ətraf mühitin mühafizəsi, sənaye və məişət tullantılarının təkrar emalı mövzusunda respublika konfransı, – Gəncə: – 24-25 noyabr, – 2022, – s. 92-94.
45. Аллахвердиева, Х.В., Исмаилов, И.А., Намазлы, У.В. Свойства композитов на основе полиэтилена различных типов и алюминия // Akademik Əli Musa oğlu Quliyevin 110 illik yubileyinə həsr olunmuş “Müxtəlif təyinətli üzvi maddələr və kompozision materiallar” mövzusunda respublika elmi konfransı, – Bakı: – 2022, – s. 112-114.
46. Аллахвердиева, Х.В., Абдуллин, М.И., Намазлы, У.В. Реологические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и алюминиевой пудры // Akademik Əli Musa oğlu Quliyevin 110 illik yubileyinə həsr olunmuş

- “Müxtəlif təyinatlı üzvi maddələr və kompozision materiallar” mövzusunda respublika elmi konfransı, – Bakı: – 2022, – s. 114-116.
47. Allahverdieva, Kh.V. Physical and Mechanical Properties of Filled Nanocomposites Based on Thermoplastic Copolymers of Ethylene with  $\alpha$ -Olefins / Kh.V.Allahverdieva, N.T.Kakhramanov, R.Sh.Gadzhieva [et al.] // Polymer Science-Series D, – United States: – 2023. Vol. 16, №1, – p. 193–198.
  48. Kakhramanov, N.T. New Approaches for the Interpretation of the Structure and Phase Transitions in Nanocomposites Based on Modified Polyolefins and Technical Carbon / Najaf Kakhramanov, Khayala Allakhverdiyeva, Qalina Martynova [et al.] // Journal of the Chemical Society of Pakistan, – Karachi: – 2023. Vol. 45, №2, – p.119-127.
  49. Kakhramanov, N.T. Physical-mechanical properties of multifunctional thermoplastic elastomers based on polyolefins and styrene-butadiene elastomer / N. Kakhramanov, Kh. Allahverdiyeva, Y. Gahramanli [et al.] // Journal of Elastomers & Plastics, – London: – 2023. Vol. 55(2), – p. 279-302.
  50. Allahverdiyeva, Kh.V. Structural features and mechanism of crystallization of nanocomposites based on maleinated high density polyethylene and carbon black / Kh.V. Allahverdiyeva, N.T. Kakhramanov, G.S. Martynova [et al.] // Heliyon, – London: – 2023. Vol. 9, Issue 4, – p. e14829.
  51. Аллахвердиева, Х.В. Электропроводящие нанокомпозиты на основе полиэтилена высокой плотности и различных типов углеродсодержащих наполнителей. / Х.В.Аллахвердиева, Н.Т.Кахраманов, Э.В.Дадашева. // Пластические массы, – Москва: – 2023. №5-6, – с. 53-56.
  52. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т. Структура и свойства электропроводящих нанокомпозитов на основе термопластичных эластомеров / “Neft kimyası, polifunksional monomerlər, oliqomerlər və polimerlərin sintezi”



Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans, – Bakı: – 23 iyun, – 2023, – s.163-165.

53. Аллахвердиева, Х.В., Кахраманов, Н.Т Влияние сегрегированной структуры полимерной матрицы на механизм электропроводности углеродсодержащих нанокompозитов / “Neft kimyası, polifunksional monomerlər, oliqomerlər və polimerlərin sintezi” Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans, – Bakı: – 23 iyun, – 2023, – s. 208-209.



*Dissertasiya işini yerinə yetirərkən göstərdiyi daimi diqqətə, etdiyi kömək və faydalı məsləhətləri üçün mən, elmi məsləhətçim, “Polimerlərin mexaniki-kimyəvi modifikasiyası və emalı” laboratoriyasının müdiri, çox hörmətli **professor Nəcəf Tofiq oğlu Qəhrəmanova** öz dərin minnətdarlığımı bildirirəm.*

Dissertasiyanın müdafiəsi “26” yanvar 2024-cü il tarixində saat 10:00-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Polimer Materialları İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.28 Dissertasiya Şurasının bazasında qeydiyyat nömrəsi BED 1.28 Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Azərbaycan Respublikası, Sumqayıt şəhəri, S.Vurğun prospekti, 124. AZ5004

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Polimer Materialları İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları <http://amea-pmi.az/> rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat “22” dekabr 2023-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: **20.12.2023**  
Kağızın formatı: **A5 (60×90 1/16)**  
Həcm: **79360**  
Tiraj: **100 nüsxə**