

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**POLİPROPİLEN, POLİVİNİLDENFLÜORİD  
VƏ DƏMİR NANOHİSSƏCİKLƏRİ ƏSASINDAKI  
NANOKOMPOZİTLƏRİN QURULUŞUNUN  
FORMALAŞMASI VƏ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI**

İxtisas: 2222.01 – Nanoquruluşların fizikası və texnologiyası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Ceyran Rafiq qızı Sultanova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq  
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2022**

Dissertasiya işi Müdafiə Sənayesi Nazirliyi, Milli Aerokosmik Agentliyinin Ekologiya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: – fizika elmləri doktoru, dosent  
**Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov.**

Rəsmi opponetlər: –AMEA-nın müxbir üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Oqtay Əbil oğlu Səmədov;**  
– fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Fərhad Ərəstun oğlu Rüstəmov;**  
– fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Pərvanə Babakışi qızı Əsilbəyli.**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.19 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:

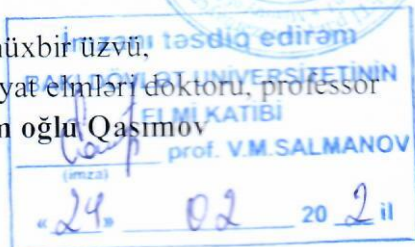
AMEA-nın müxbir üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Aydın Həsən oğlu Kazımzadə**

Dissertasiya Şurasının elmi katibi:

fizika üzrə fəlsəfə doktoru  
**Həbibə Aslan qızı Şirinova**

Elmi seminarın sədri:

AMEA-nın müxbir üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Oktay Kazım oğlu Qasımov**



## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Müasir mikro- və nanoelektronikada baza materiallarına universallıq, çoxfunksiyalılıq, səmərəlilik, kiçik qabarit ölçüləri və alınma texnologiyasının sadəliyi kimi səciyyəvi tələblər qoyulur. Bu mənada yeni fiziki prinsiplər əsasında işləyən qurğuların yaradılmasında istifadə olunan polimer nanokompozit materiallarda nanohissəcik-polimer qarşılıqlı təsiri ilə stimullaşan fiziki hadisələrin öyrənilməsi aktual problemlərdən biri hesab oluna bilər. Otaq temperaturunda stabil və optimal parametrlərə malik nanokompozit materiallar hal-hazırda spintronika qurğuları, intellektual qəbuledicilər, nanosensörler, yaddaş elementləri, məntiq qurğuları, biomühəndislikdə, habelə iş prinsipi ayrı-ayrı elementləri arasında spin cərəyanının yaranmasına əsaslanmış qurğularda baza materialı kimi geniş tətbiq olunur. Digər tərəfdən, maqnitlənən materiala yazılan informasiyanın həcmnin artırılması üçün yükdaşıyıcılarda informasiya bitlərinin nanometr səviyyəsində olması tələbi qoyulur. Son illərin tədqiqatları bu sahədə, eləcə də aviakosmik texnika, cihazqayırma və tibbi texnologiyada ferro- və ferrimaqnit polimer nanokompozitlərin perspektivli ola biləcəyini düşünməyə əsas verir.

Özünəməxsus xassələrə malik bir neçə komponentdən ibarət olan polimer əsaslı maqnit nanokompozitlər tərkibinə daxil olan üzvi və qeyri-üzvi komponentlərin sinergetik effekti hesabına unikal xassələr nümayiş etdirir ki, bu xassələri ayrıca götürülmüş üzvi və ya qeyri-üzvi materialda əldə etmək mümkün deyildir. Polimer matris nanokompozitin tələb olunan şəkildə emal olunmasını, eləcə də optimal mexaniki, elektrik, maqnit, optik və s. kimi xassələrə malik olmasını təmin edir. Polimer matris ilə maqnit doldurucu arasındakı fazalararası qarşılıqlı təsir materiala unikal maqnit xassələr verdiyi kimi, polimer matrisin quruluş formalaşdırma qabiliyyəti doldurucu nanohissəciklər arasında maqnit qarşılıqlı təsirini idarə etməyə imkan verir. Belə olduğu halda polimer əsaslı maqnit nanokompozitlər idarə olunan maqnit xarakteristikalı, çoxfunksiyalı, eləcə də unikal kompleks xassəli materialların yaradılmasında perspektivli hesab olunur.

Belə materialların hazırlanma texnologiyasının təkmilləşdirilməsi

və onlarda baş verən fiziki proseslərin nanometr səviyyəsində kompleks şəkildə tədqiqinə həsr olunan dissertasiya işinin aktuallığı şübhə doğurmur.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqat obyektı olaraq polipropilen (PP), polivinildenflüorid (PVDF) termoplastik polimerləri və Fe nanohissəcikləri əsasında hazırlanmış PP+Fe və PVDF+Fe maqnit nanokompozitləri götürülmüşdür. Nanokompozitlərin quruluşu, dielektrik, maqnit, mexaniki və termik xassələri öyrənilmiş, nəzəri və eksperimental nəticələrin müqayisəli təhlili əsasında onların optimal fiziki parametrləri üçün dəmir nanohissəciklərinin həcmi miqdarı seçilmişdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin əsas məqsədi PP və PVDF termoplastik polimerləri və Fe nanohissəcikləri əsasında PP+Fe və PVDF+Fe maqnit nanokompozitlərini hazırlamaq, nanokompozitlərin quruluş, dielektrik, optik, maqnit, mexaniki və termik xassələrini Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarından asılı olaraq tədqiq etməklə, onlarda baş verən fiziki proseslərin mexanizmini aydınlaşdırmaq və praktiki tətbiq imkanlarının müəyyən etməkdən ibarətdir.

Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli qarşıya qoyulmuşdur:

1. Fe nanohissəciklərinin müxtəlif həcmi miqdarlarında PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin alınması üçün optimal texnoloji rejimi seçmək;

2. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin tərkib və quruluşunu tədqiq etmək;

3. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin dielektrik xassələrini Fe nanohissəciklərin həcmi miqdarından asılı olaraq tədqiq etmək və dielektrik nüfuzluğunun dəyişməsi mexanizmini aydınlaşdırmaq;

4. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin mexaniki və termik xassələrini Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq tədqiq etmək;

5. İQ və UB spektroskopiyaları əsasında PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin optik xassələrini Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq tədqiq etmək və optik udulmanın mexanizmini müəyyənləşdirmək;

6. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin maqnit xassələrini Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq tədqiq etmək, maqnit müqavimətinin dəyişməsinin xarakterini müəyyən etmək və təcrübi nəticələri nəzəri hesablamalarla müqayisə etmək.

**Tədqiqat metodları.** Polimer nanokompozitlərin quruluş və fiziki-mexaniki xassələrinin tədqiq zamanı rentgen struktur analizi (RSA), infraqırmızı spektroskopiya (İQ), ultrabənövşəyi spektroskopiya (UB), skanedici elektron mikroskopiyası (SEM), atom-qüvvə mikroskopiyası (AQM), maqnit-qüvvə mikroskopiyası (MQM), termoqravimetrik analiz (TQA), diferensial-skanedici kalorimetriya (DSK), eləcə də mexaniki möhkəmlilik, dielektrik və maqnit xassələrinin ölçmə üsulları tətbiq olunmuşdur.

### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Özünəməxsus maqnit, elektrik və optik xassələri ilə xarakterizə olunan yeni maqnit polimer nanokompozitlərin alınma texnologiyası işlənmiş, nanohissəciklərin polimer matrisdə formalaşması və paylanmasının qanunauyğunluqları müəyyənləşdirilmişdir.

2. PP və PVDF matrisinə daxil edilmiş Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarından asılı olaraq polimerlərdə amorf faza/kristallik faza nisbəti dəyişir.

3. Daxil edilmiş maqnit nanodoldurucunun təsiri ilə polyar və qeyripolyar polimerin dielektrik xassələrinin kəmiyyət və keyfiyyətə müxtəlif formada dəyişməsi fazalararası polyarlaşma ilə əlaqədardır.

4. PP və PVDF polimerlərinin termik və mexaniki parametrlərinin stabil və optimal qiyməti nanodoldurucunun həcmi miqdarı ilə müəyyən olunur.

5. Kompleks şəkildə aparılmış təcrübi və nəzəri hesablamalar nanokompozitlərin maqnit parametrlərinin nanohissəciyin həcmi miqdarından, polimerin növündən və nanohissəciyin polimer matrisdəki paylanma xarakterindən asılı olduğunu göstərir.

6. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərində müşahidə edilmiş maqnitorezistiv effekt tunnel maqnitorezistiv mexanizmi ilə baş verir.

7. Hazırlanmış PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitləri sərt disklərin maqnit başlıqlarının, strukturlaşmış informasiya daşıyıcılarının, spintronika qurğularının və yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarını udan örtüklərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

### **İşin elmi yenilikləri:**

1. PP+Fe və PVDF+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin sintez metodu təklif edilmişdir.

2. Dispers Fe nanohissəcikləri polikristallik quruluşa malik poli-propilenin amorf fazasında qərarlaşaraq müəyyən konsentrasiyalarda quruluş mərkəzləşdirici funksiyasını yerinə yetirir və nanokompozitdə amorf fazanın payının azalmasına səbəb olur.

3. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin termostabilliyi Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının optimal qiyməti ilə, habelə fazalararası sahədə polimerlə doldurucu (Fe) arasındakı qarşılıqlı təsirlə müəyyən olunur.

4. Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq dielektrik nüfuzluğunun azalması nanokompozitlərin polyarlaşıma qabiliyyətinin azalmasını göstərir.

5. Polimer matrisdə paylanmış dispers Fe maqnit nanohissəcikləri lokal oblastlarda domenlər əmələ gətirir, onların maqnit sahəsi, habelə nanokompozitin maqnit morfolojiyası Fe-un konsentrasiyası ilə idarə olunur.

6. Müəyyənləşdirilmişdir ki, mənfi maqnit müqaviməti nanokompozit matrisində elektronların izolə edilmiş maqnit nanohissəcikləri arasında spindən asılı olaraq tunnel etməsi ilə əlaqədardır.

7. PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyəti kompleks dielektrik nüfuzluğu, dielektrik/maqnit itkiləri, habelə nanohissəcik və polimer arasındakı fazalararası relaksasiya ilə müəyyənləşir.

**Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti.** İşin praktik əhəmiyyəti aşağıdakıdan ibarətdir:

Tədqiqat işində ilk dəfə olaraq özünəməxsus fiziki xassələrə malik PP+Fe və PVDF+Fe əsaslı polimer nanokompozitlər sintez edilmişdir. Maqnit nanohissəciklər və izoləedici polimer matris əsasında PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitləri tunnel maqnit effekti ilə xarakterizə olunur ki, bu da onlardan maqnit sensorlarının, habelə sərt disklərin maqnit başlıqlarının, strukturlaşmış informasiya daşıyıcılarının, spintronika qurğularının hazırlanmasında istifadə etməyə imkan verir. PP+Fe nanokompozitləri əsasında radar sistemlərində, habelə aviasiyada yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyətinə

malik örtüklər hazırlana bilər.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiya işinə daxil edilən tədqiqatların nəticələri aşağıda adları qeyd olunan Respublika və Beynəlxalq elmi konfranslarında müzakirə edilmiş və onların materiallarında dərc olunmuşdur:

- Magistrantların və gənc tədqiqatçıların “Fizika və astronomiyanın problemləri” mövzusunda VIII Respublika elmi konfransı (Bakı, 17 may 2013-cü il);
- “Fizikanın aktual problemləri” mövzusunda beynəlxalq elmi konfrans (Bakı, 6 dekabr 2013-cü il);
- International Conference “Modern Trends in Physics” (Baku, 01-03 May 2019);
- İddiaçı 2018-ci ildə MDB ölkələrinin Beynəlxalq İnnovativ Nanotexnologiya Mərkəzinin (Rusiya Federasiyası) elan etdiyi beynəlxalq qrant müsabiqəsinin qalibi olmuş “Суперпарамагнитные нанокompозитные материалы на основе термопластических полимеров и наночастиц железа для электронной техники” adlı layihənin iştirakçısı olmuş və mövzu üzrə alınmış nəticələr layihə çərçivəsində keçirilmiş seminarda ətraflı müzakirə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin materialları əsasında 9 elmi məqalə (onlardan 7-si Web of Science və SCOPUS bazalarında indeksləşən jurnallarda dərc olunub) və 3 tezis çap olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi Müdafiə Sənayesi Nazirliyi, Milli Aerokosmik Agentliyinin Ekologiya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya işi 167 səhifədə çap olunmuş mətnə təqdim olunur, giriş, dörd fəsil, nəticələr, praktik tövsiyələr, 69 şəkil, 20 cədvəl və 163 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Ədəbiyyatda 34 əsər rus dilində, 121 əsər ingilis dilində və 8 ədəbiyyat azərbaycan dilindədir. Dissertasiya (mətndəki boşluqlar və şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə) 205400 işarə (giriş – 21846, I fəsil – 51595, II fəsil – 34393, III fəsil – 45997, IV fəsil – 45707, nəticə – 2305 işarə) həcmindədir.

**Aparılan tədqiqatlarda iddiaçının şəxsi payı.** Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsinin bütün mərhələlərində iddiaçı tam iştirak etmişdir. O, dissertasiya mövzusunə aid son illərdə aparılan elmi işlərə dair ədəbiyyat icmalının tərtibində, nanokompozitlərin sintez olunmasında, nanokompozitlərin quruluş, dielektrik, optik, maqnit, mexaniki və termik xassələrinin tədqiqində, alınan nəticələrin ümumiləşdirilərək yekunlaşdırılması, elmi məqalələrin və konfrans materiallarının hazırlanmasında bilavasitə iştirak etmişdir.

## **İŞİN QISA MƏZMUNU**

**Girişdə** mövzunun aktuallığı, işin məqsədi, məqsədə çatmaq üçün həll edilmiş məsələlər, işin elmi yeniliyi və praktiki dəyəri, müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar, materialların aprobeşiyası və dissertasiya işinin fəsillərinin qısa məzmunu şərh olunmuşdur.

**Birinci fəsildə** polimer matrisə ferromaqnit nanohissəciklər daxil etməklə alınmış nanokompozitlərin quruluşu və xassələrinin formalaşmasında texnoloji amillərin rolunun müəyyənləşdirilməsi istiqamətində aparılmış elmi-təcrübi tədqiqat işlərinin icmalı verilmişdir. Polimer nanokompozitlər iki və ya daha çox fazadan ibarət sistem olub, polimer matrisə və onda müəyyən qanunauyğunluqla paylanmış nanohissəcik və ya nanodoldurucudan təşkil olunmuşdur. Son zamanlar məhz polimer nanokompozitlərə tələbat artmışdır, çünki polimerin xassələrini dəyişmək və gücləndirmək üçün nanodoldurucunun müxtəlif variantlarını tətbiq etmək mümkündür. Polimer əsasında nanokompozitləri digər materiallardan fərqləndirən əsas üstün cəhət kiçik maya dəyərinə və yüngül kütləyə malik olmasına baxmayaraq yüksək fiziki-elektrik, maqnit, optik, mexaniki, termiki xassələrə, eləcə də zərbəyə, yeyilməyə, kimyəvi təsirlərə davamlılıq kimi texniki göstəricilərə malik olmasıdır. Bu xassələri təmin etmək üçün isə başlıca şərt polimer matrisə və ona əlavə olunan nanohissəciklərin uyğun seçilməsi və nanodoldurucunun polimer matrisədə düzgün paylanmasıdır. Məlum olmuşdur ki, polimer nanokompozitlərin alınma texnologiyası onun xassələrinə: nanodoldurucunun ölçülərinə və polimer matrisədə paylanmasına, üstmolekulyar quruluşunun formalaşmasına, matris və doldurucu arasındakı fazalararası sərhəddin qalınlığına, fazalararası

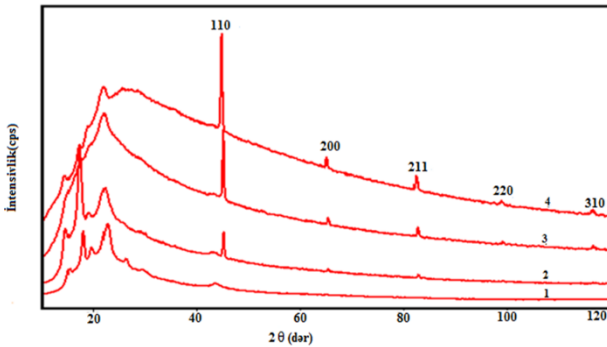


qarşılıqlı təsirin xarakterinə birbaşa təsir edən amildir. Bu baxımdan nanodoldurucunun kiçik ölçülərə və yüksək səth enerjisinə malik olması ənənəvi üsulların modifikasiyasını və məhdudiyətləri aradan qaldırmaq üçün xüsusi uyğunlaşdırılmış yeni üsulların istifadəsini tələb edir. Nanohissəciklərin quruluş, ölçü, forma və tərkibini dəyişməklə onlar əsasındakı nanokompozitlərin maqnit xassələrini müəyyən hədudlar daxilində idarə etmək mümkündür. Polimerin xassələri həmçinin onun üstmolekulyar quruluşundan, quruluş elementlərində makromolekulların qarlaşma üsulundan asılı olur. Bu elementlərin ölçü və formaları və materialda qarşılıqlı yerləşməsi onun üstmolekulyar quruluşunu və polimerin xassələrini müəyyən edir. Nanokompozit sistemlərdə kəsilməz faza olan polimer müxtəlif forma və dispersiyə malik nanohissəciklərlə doldurulur. Bu zaman matris və doldurucu arasında qiyməti doldurucunun ölçü, forma və miqdarından asılı olan adgeziya qarşılıqlı təsiri yaranır. Bu fəsilə həmçinin ferromaqnit nanohissəcikləri daxil etməklə alınmış polimer nanokompozitlərin xassələrinə texnoloji şəraitin və xarici fiziki amillərin rolunun təsirinin araşdırılması məqsədilə yerinə yetirilmiş tədqiqat işləri təhlil edilmiş və ixtiyari bir tədqiqat işində seçilmiş hər bir tədqiqat obyektinin xüsusiyyətlərindən, alınma üsulundan və qarşıya qoyulmuş məqsəddən asılı olaraq materialın məruz qala biləcəyi faktorların (temperaturun, müxtəlif sahələrin və s. köhnəldici faktorlar) təsirinin tədqiqinin vacibliyi vurğulanmışdır.

**İkinci fəsilə** tədqiqat obyektləri olaraq matris qismində PP və PVDF polimerlərinin və doldurucu olaraq Fe nanohissəciklərinin seçilməsi əsaslandırılmış, mühüm fiziki-kimyəvi göstəriciləri qeyd olunmuşdur. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin sintezinin texnologiyasının optimallaşdırılmasından bəhs edilmişdir. Alınmış nanokompozitlərin identifikasiyası və quruluş tədqiqi üçün müxtəlif müasir və informativ metodlardan istifadə olunmuşdur. Belə ki, PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozit təbəqələrinin identifikasiyası və quruluşunun tədqiqi məqsədilə rentgen difraktoqrama üsulu, infraqırmızı və ultrabənövşəyi spektroskopiya, nanohissəciklərin polimer matrisdə ölçü və paylanma xarakterinin müəyyənəşdirilməsi üçün elektron mikroskopiyası və atom qüvvət mikroskopiyası metodlarından istifadə edilmişdir. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozit nümunələrinin dielektrik xassələri,

habelə xüsusi müqavimətinin tezlik və temperatur asılılıqları «Измеритель иммитанса E7-20» cihazı, maqnit xassələrinin öyrənilməsi məqsədilə ilə tədqiqat prosesində istifadə olunan maqnitometrin iş prinsipi verilmişdir. Burada həmçinin polimer nanokompozitlərin möhkəmlik, termo-fiziki və maqnitorezistiv xassələrinin tədqiqi üsulları, nanokompozitlər tərəfindən yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarının udulmasının tədqiqi metodları öz əksini tapmışdır.

**Üçüncü fəsil** PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin polimer matrisə daxil edilmiş Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarından asılı olaraq quruluşunun və xassələrinin, həmçinin quruluşla xassə arasındakı əlaqənin tədqiqinə həsr edilmişdir. PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin quruluşu rentgen quruluş analizi metodu (RQA) ilə tədqiq edilmişdir (şəkil 1). Difraktoqramlardan görüldüyü kimi Fe nanohissəciklərinə məxsus piklər PP+Fe nanokompozitlərində də müşahidə olunur.



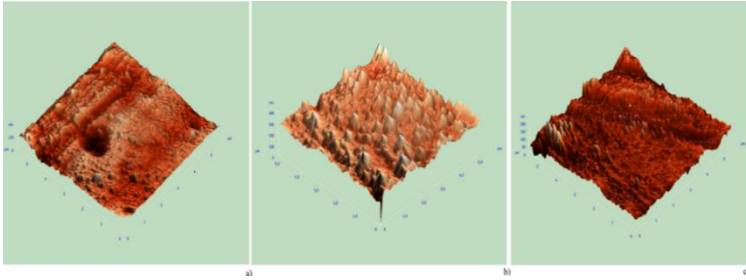
**Şəkil 1.** PP və PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin XRD difraktoqramı: 1) PP, 2) PP+0.1% Fe, 3) PP+5% Fe, 4) PP+10% Fe

Belə ki,  $2\theta$  bucağının 44.72, 65.10, 82.42, 116.43 qiymətlərində uyğun olaraq (110), (220), (211), (310) Müllər indeksləri ilə səciyyələnən rentgen pikləri dəmir nanohissəciklərinə xasdır. Müəyyən olunmuşdur ki, Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının ilkin qiymətlərində (0.1%-ə qədər) nanokompozit matrisinin ümumi quruluşu əsasən polimerin quruluşu ilə müəyyən olunur. Konsentrasiyanın sonrakı artımı ilə quruluş mərkəzləşdirici funksiyasını yerinə yetirən Fe nanokompozit matrisinin özünü vahid sistem kimi aparmasına və

kristallıq dərəcəsinin artmasına səbəb olur.

İQ tədqiqatlar əsasında müəyyən olunmuşdur ki, nanoölçülü Fe doldurucusunun polimer matrisə daxil edilməsi ilə polimerin yalnız fiziki quruluşu dəyişir. Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə UB spektrindəki piklərin uzun dalğa uzunluğu oblastına tərəf sürüşməsi polimer matrisdə nanohissəciklərin kooqulyasiyasının baş verməsi ilə izah olunur.

Fe nanohissəciklərin polimer matrisdə paylanmasının, ölçü və formasının, nanokompozitin faza tərkibinin, eləcə də digər kimyəvi elementlərin faza boyunca paylanmasının müəyyən edilməsi məqsədilə nümunələrin SEM təsvirləri tədqiq edilmişdir. Şəkil 2-də Fe-un müxtəlif konsentrasiyalarında PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin 3D təsvirləri verilmişdir. Təsvirləri analiz edərkən məlum olur ki, dəmir nanohissəciklərinin matrisə daxil edilməsi ilə polimerin üstmolekulyar quruluşunda ciddi dəyişikliklər baş verir.



**Şəkil 2.** PP+Fe nanokompozitlərinin 3D AQM təsvirləri.

a) PP; b) PP+0,5% Fe; c) PP+5%

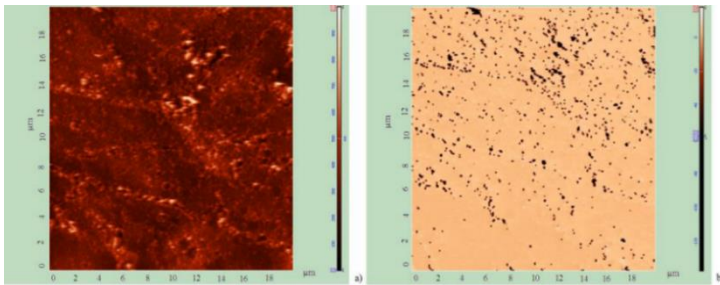
MQM topoqrafiya təsvirində (şəkil 3) nanokompozitin bütün səthi boyunca maqnit siqnallar aydın görünür. MQM təsvirlər dispers dəmir nanohissəciklərin öz ətrafında maqnit sahəsi yaratdığını və nəticədə nümunənin maqnit morfoloqiyasının dəyişməsinə əks etdirir. Həmçinin müəyyən olunmuşdur ki, PP matrisində paylanmış maqnit nanohissəciklər lokal oblastlarda domenlər əmələ gətirir.

PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin SEM təsvirlərinin analizi göstərir ki, Fe nanohissəciyinin polimer matrisdə 0,3% həcmi miqdarında ölçüləri 24-42 nm təşkil edir. Fe nanodoldurucusunun polimer matrisdə həcmi miqdarı artdıqca aqlomeratların həm sayı, həm də

ölçüləri böyüyür. Belə ki, Fe nanohissəciyinin 1% həcmi miqdarında ölçüləri 47-65 nm, 5% həcmi miqdarında isə 70-105 nm-ə qədər artır.

Nanokompozitlərin dielektrik xassələrinin tədqiqi əsasında müəyyən olunmuşdur ki, nanohissəciklərin polimer matrisədə konsentrasiyasının artması ilə hissəciklərin həm sayının, həm də ölçülərinin artması nanokompozitlərin keçiriciliyinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır. PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərində 370-430 K temperatur intervalında pozistor effekt müşahidə olunur. Bu nümunələrdə pozistor effektin yaranmasına səbəb fikrimizcə, polipropilenin kristallik fazasının dağılmasıdır. Belə ki, polimerin kristallik fazasının dağılması ilə dəmir nanohissəcikləri arasında orta məsafə artır.

Tədqiq olunan nanokompozitlərin termik xassələrinin matrisə daxil edilən nanohissəciklərin miqdarından asılılığını müəyyən etmək məqsədilə termoqravimetrik tədqiqatlar aparılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, Fe nanohissəciklərinin polipropilen matrisə daxil edilməsi ilə nanokompozitin istilik müqaviməti kəskin dəyişir. Belə ki, Fe nanohissəciklərinin polimer matrisədə paylanması polipropilenin termostabilliyinin artmasına gətirib çıxarır ki, bu artım Fe nanohissəciklərinin 0,1% konsentrasiyasına qədər davam edir. Fe nanohissəciklərinin polimer matrisədə sonrakı artımı nanokompozitin termostabilliyinin azalmasına səbəb olur. 0,1% Fe doldurulmuş polimer nanokompozitinin destruskiya temperaturu saf polimerə nisbətən daha yüksək temperaturlara doğru (29°C-dək) sürüşür.



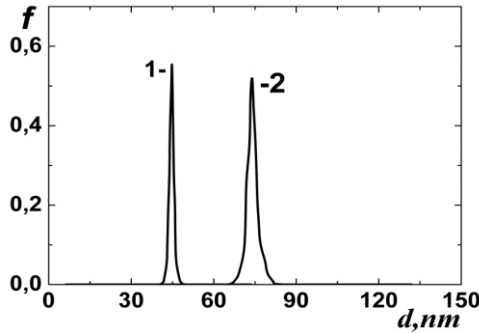
**Şəkil 3.** Atom qüvvət (a) və maqnit qüvvət mikroskopiyası (b) PP+5% Fe

PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin SEM təsvirləri əsasında hissəciklərin polimerdəki ölçülərinin 50-yə yaxın qiyməti götürülmüş və statistik parametrlər hesablanmışdır. Fe nanohissəciklərinin polimer

matrisdə ölçülərə görə paylanmasını loqarifmik-normal paylanma qanunu ilə yaxşı ifadə edilməsinin mümkünlüyü qənaətinə gəlinmişdir<sup>1</sup>:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma \cdot x}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln x - \overline{\ln x})^2}{2\sigma^2}\right).$$

Fe nanohissəciklərinin polipropilen matrisində müxtəlif konsentrasiyalarda ölçüyə görə loqarifmik-normal paylanma funksiyası verilmişdir (şəkil 4).

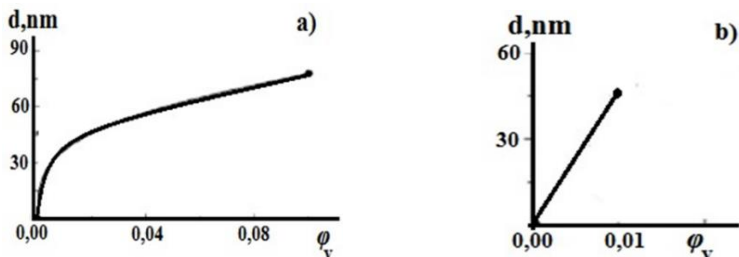


**Şəkil 4.** Fe nanohissəciklərinin 0.1% (1) və 10% (2) konsentrasiyalarda polipropilen matrisində ölçülərinə görə normal-loqarifmik paylanma əyriləri

Polimer matrisədə nanodoldurucunun orta ölçülərinin onun konsentrasiyasından asılılığı tədqiq edilmişdir. Bu asılılıq şəkil 5-də öz əksini tapmışdır. Burada, PP matrisinə daxil edilmiş Fe nanohissəciklərinin diametrinin onun aşağı (b düz xətti) və nisbətən yuxarı konsentrasiyalarından (a əyrisi) asılılığı verilmişdir.

Qrafikdən görünür ki, polipropilen matrisində Fe nanohissəciklərinin kiçik konsentrasiyalarda ölçüləri onun konsentrasiyasından daha kəskin asılı olur, lakin böyük konsentrasiyalarda bu cür asılılıq artıq müşahidə edilmir, asılılıq zəifləyir. Bu isə polimer matris və nanohissəciyin xassələri ilə birbaşa əlaqəlidir.

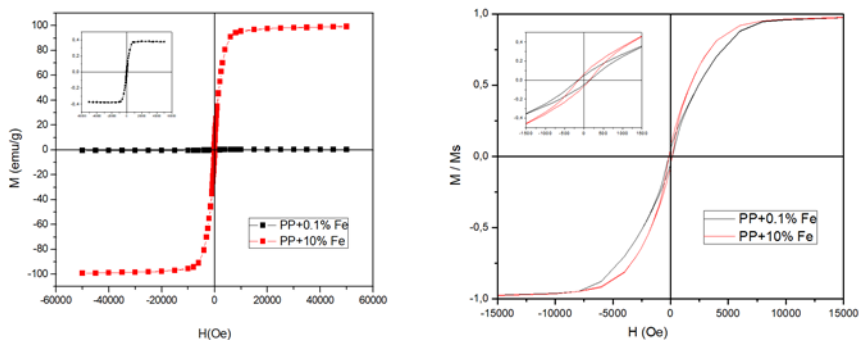
<sup>1</sup>Awschalom, D.D., McCord, M.A., Grinstein, G. Observation of macroscopic spin phenomena in nanometer-scale magnets // Physical Review Letters, – 1990. – 65 (6),-p. 783-786



**Şəkil 5.** Fe nanohissəciklərinin diametrinin PP matrisasındakı konsentrasiyasından asılılığı: Fe a) yuxarı b) aşağı konsentrasiya

Tədqiqat işində PP+Fe əsaslı nanokompozitlərin maqnit xassələri eksperimental metodla da tədqiq edilmiş və nəticələr nəzəri hesablamalar zamanı alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir.

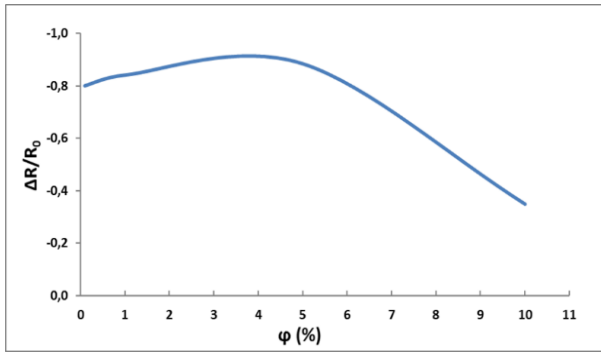
PP+Fe əsaslı nanokompozitlərin  $M(H)$  əyrilərindən görüldüyü kimi (şəkil 6) maqnit sahəsinin intensivliyi artdıqca xüsusi maqnitlənmə artır və onun müəyyən qiymətində doyma baş verir. Maqnit sahəsinin azaldılması ilə qalığ maqnitlənmə müşahidə olunur və tsiklin maqnit sahəsinin istiqamətini dəyişməklə təkrarlanması ilə histerezis ilgəyi müşahidə olunur.



**Şəkil 6.** PP+Fe nanokompozitlərinin ( $T=300$  K): a) maqnitlənmənin xarici sahənin intensivliyindən asılılığı; b) normallaşmış maqnitlənmənin xarici sahənin intensivliyindən asılılığı

İşdə həmçinin PP+Fe əsaslı nanokompozitlərdə maqnitorezistiv effekt müşahidə edilmiş və onların müqavimətinin maqnit sahəsindən asılılığı araşdırılmışdır (şəkil 7). Qrafikdən görüldüyü kimi PP+Fe əsaslı nanokompozitlər mənfi maqnit müqavimətinə malik olur və

doldurucunun konsentrasiyanın 5%-ə qədər artımı ilə maqnit müqaviməti artır, sonra isə azalma müşahidə olunur.



**Şəkil 7.** PP+Fe əsaslı nanokompozitlərin maqnit müqavimət doldurucunun həcmi miqdarından asılılığı

Maqnit müqavimətinin maksimum qiyməti Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının, özəklər bir-birindən minimum qalınlıqda dielektrik təbəqəsi ilə ayrıldığı, ancaq eyni zamanda onlar arasında qarşılıqlı təsirin baş vermədiyi halda müşahidə olunur. PP+Fe nanokompozitləri üçün bu 5% təşkil edir. Kompozitdə metal doldurucunun sonrakı artımı isə nanohissəciklərin maqnit momentlərinin ferromaqnit nizamlılığına və maqnit müqavimətinin qiymətinin azalmasına gətirib çıxarır. PP+Fe əsasında nanokompozitlərdə maqnitorezistiv effektin müşahidə olunması onlarda bu tip sistemlər üçün xarakterik olan tunnel maqnitorezistiv effektin mövcudluğu ilə əlaqələndirilir. Bu da belə sistemlərin morfoloqiyası və polimer tərəfindən yaradılan potensial baryerdən nanohissəciyin elektronlarının spin tunnel keçidi etməsi ilə izah olunur.

Nanohissəciklərin polimer matrisdə optimal miqdarı və polimerlə doldurucu arasındakı fazalararası sahədə baş verən qarşılıqlı təsir polimer nanokompozitlərin termostabilliyinə çox böyük təsir göstərmə imkanına malikdir. PP+Fe nanokompozitlərinin DSC analizindən məlum olur ki, Fe nanohissəciyinin polimer matrisdə həcmi miqdarının artması ilə nanokompozitlərin kristallaşma temperaturu artır. Belə ki, dəmir nanohissəciklərinin polimer matrisə daxil edilməsi ilə nanokompozitlərin kristallaşma temperaturu daha yüksək temperaturlara

doğru sürüşür.

Tədqiqat işində PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin Fe nanohissəciyinin konsentrasiyasından asılı olaraq mexaniki xassələrinin dəyişməsi öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, nanokompozitlərin mexaniki möhkəmliyi Fe nanohissəciyinin 1% konsentrasiyasına kimi saf polimerə nisbətən artır, lakin nanodoldurcunun miqdarının sonrakı artımı mexaniki möhkəmliyin azalmasına gətirib çıxarır.

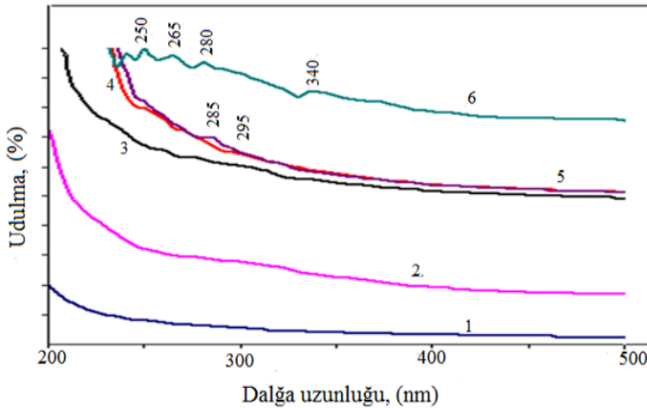
**IV fəsildə** PVDF polimeri və ona daxil edilmiş Fe nanohissəciklərinin müxtəlif konsentrasiyaları əsasında alınmış yeni nümunələrin quruluşu, əsas fiziki xassələrinin və onların formalaşmasında fazalararası hadisələrin rolunun tədqiqi öz əksini tapmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, dispers hissəciklər daxil edilmiş nanokompozitin faza strukturunu və xassələrini təyin edən əsas kriteriyalardan biri də polimer-nanodoldurucu sərhəddində meydana çıxan fazalararası təbəqədir. Nanodoldurucu-polimer sərhədində yerləşmiş polimerin müəyyən oblastında polimerin ümumi həcmindən fərqli quruluş müşahidə olunur və buna uyğun olaraq ümumi həcmə sərhəddə materialın xassələri fərqli olur. Bu zaman nanohissəciyin səthində xüsusi, müəyyən qalınlıqlı fazalararası təbəqə formalaşır. Yeni kompozitlərin nanodoldurucunun dispers strukturunun və polimerin faza tərkibinin təyin olunmuş parametrləri əsasında alınması əsas komponentlərinin optimal konsentrasiyası haqqında fikir yürütməyə imkan verir. Aparılan çoxsaylı araşdırmalar nəticəsində dispers-nanodoldurulmuş polimer kompozitlərin fazalararası təbəqənin nanodoldurucunun miqdarından, ölçülərindən və paylanmasından asılı olduğu, həmçinin nanodoldurucunun konsentrasiyasının eləcə də paylanma sıxlığının fazalararası polimer təbəqənin tərkib və xassələrinin formalaşmasına birbaşa təsir etdiyi təyin edilmişdir.

Dəmir nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq PVDF+Fe maqnit polimer nanokompozitlərinin İQ spektroskopiyası göstərmişdir ki, Fe nanohissəciklərinin polimer matrisdə konsentrasiyasının müəyyən qiymətlərdə amorf zolaqların intensivliyinin azalması baş verir, bu da onda amorf fazanın azalması və kristallik fazanın artması ilə izah olunur. Həmçinin İQ spektroskopiyası göstərdi ki, dəmir nanohissəciklərinin polivinildenfluorid matrisinə daxil edilməsi ilə polimer matrisinin kimyəvi quruluşunda heç bir dəyişiklik baş vermir, yalnız onun kristallik



morfolojiyasında müəyyən dəyişikliklər müşahidə olunur.

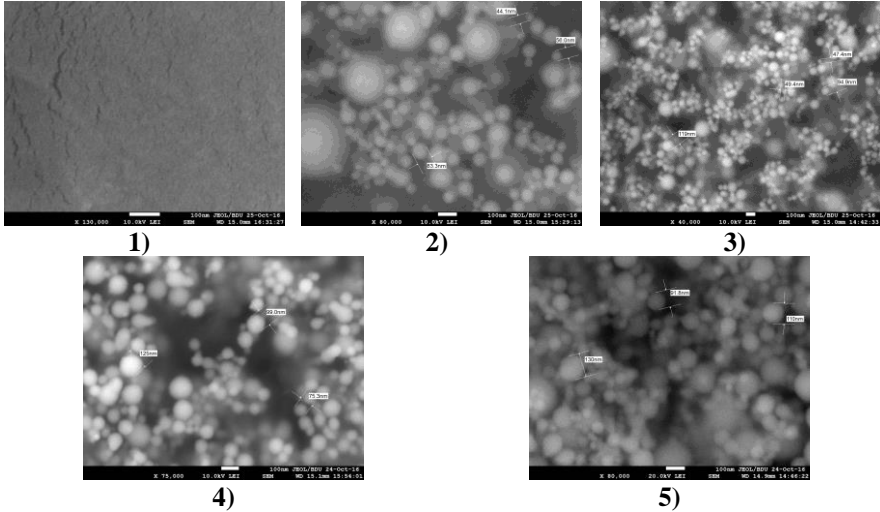
Təmiz (nanohissəcik daxil edilməmiş) PVDF təbəqəsinin UB spektrində heç bir xarakterik udma maksimumu müşahidə edilməmişdir. PVDF+Fe nanokompozitlərinin doldurucunun kiçik konsentrasiyalarda (0.3 və 0.5%) 250, 265, 280 nm dalğa uzunluğunda zəif intensivlikli maksimumlar müşahidə olunur ki, konsentrasiya artdıqca (1% və 5%) onların intensivliyi də artır (şəkil 8). Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarı artdıqca spektrdə maksimumların intensivliyinin tədricən artması doldurucunun polimer matrisdə homogen paylanmasını göstərir. Digər tərəfdən müəyyən olunmuşdur ki, konsentrasiyanın 5% həcmi miqdarında 340 nm dalğa uzunluğunda yeni maksimum yaranır, bunu da yuxarı konsentrasiyalarda nanohissəciklərin aqlomerasiyası və ölçülərin dəyişməsi ilə polimer matrisinin morfolojiyasının dəyişməsi ilə izah etmək olar.



**Şəkil 8.** PVDF və PVDF+Fe əsasında nanokompozitlərin UB spektrləri 1 – PVDF, 2 – PVDF+0.1% Fe, 3 – PVDF+0.3% Fe, 4 – PVDF+0.5% Fe, 5 – PVDF+1% Fe, 6 – PVDF+5% Fe

PVDF+Fe əsasında nanokompozitlərin səthinin morfolojiyası skanedici elektron mikroskopu vasitəsilə tədqiq edilmişdir (şəkil 9). Polimer matrisdə nanohissəciklərin həcmi miqdarı artdıqca nanohissəciklərin və onların aqlomeratlarının həm sayı, həm də ölçüləri artır. Lakin polipropilen matrisindən fərqli olaraq polivinilidenflüorid matrisdə Fe-un eyni konsentrasiyasında hissəciklərin ölçüsü nisbətən daha böyükdür. Belə ki, PP+0.1% Fe nanokompozitində nanohissəciklərin

polimerdə ölçüsü 24-42 nm olduğu halda, PVDF+0,1% Fe nanokompozitində 44-84 nm təşkil edir. SEM tədqiqatlarından məlum olmuşdur ki, PVDF matrisində Fe nanohissəciklərin əsas klasterlərinin ölçüləri 45-130 nm tərtibindədir.



**Şəkil 9.** PVDF+Fe əsasında nanokompozitlərin SEM təsviri: 1 – PVDF, 2 – PVDF+0.1% Fe, 3 – PVDF +2% Fe, 4 – PVDF+7% Fe, 5 – PVDF+10% Fe

Hissəciklərin ölçülərinin polimer matrisdə dəyişməsi onların polimer ilə qarışdırılması zamanı yüksək səth enerjisinə malik Fe nanoklasterlərinin bir-biri ilə aqlomerasiyası (birləşməsi) ilə izah edilir. Nanohissəciklər polimer matrisdə formalaşarkən onlar polimerin sərbəst həcmində yerləşməklə bərabər həm də polimer matrisin üst molekulyar quruluşunun formalaşdırıcı mərkəzi kimi (kristallaşma mərkəzi kimi) iştirak edir.

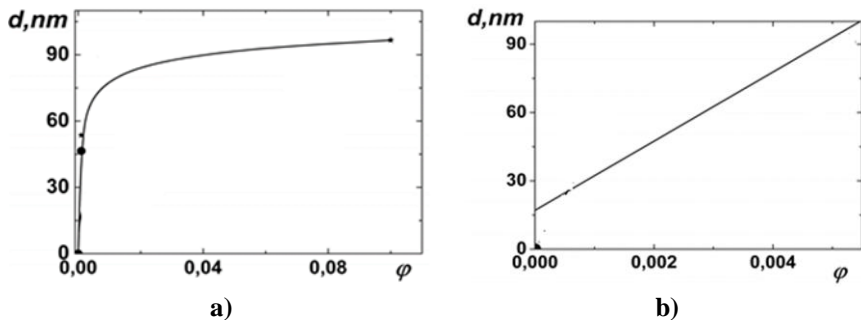
PVDF+Fe əsasında nanokompozitlərin dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq dəyişməsi müəyyən olunmuşdur. Belə ki, PP+Fe nanokompozitlərdən fərqli olaraq kiçik tezliklərdə PVDF+Fe əsaslı nanokompozitlərdə Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının nisbətən böyük qiymətlərində (5% və 10%) dielektrik nüfuzluğu daha böyük qiymət alır. Bu fərq polyar PVDF polimerində keçirici doldurucunun miqdarının artması ilə fazalararası polyarlaşmanın artması və nəticədə dielektrik

nüfuzluğunun artması ilə əlaqədardır.

PVDF+Fe əsasında nanokompozitlərin dielektrik nüfuzluğunun, dielektrik itki bucağının, xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Həmçinin PVDF+Fe əsaslı polimer nanokompozit nümunələrin nanodoldurucunun həcmi miqdarından asılı olaraq termik stabilliyinin təhlili yerinə yetirilmişdir. Nəticələrdən belə qənaətə gəlinmişdir ki, Fe nanohissəciklərin polivinildenflüorid matrisinə daxil edilməsi PVDF əsaslı nanokompozitlərin termostabilliyinin azalmasına gətirib çıxarır, polimer strukturunun dağılma prosesinin sürətlənməsinə səbəb olur.

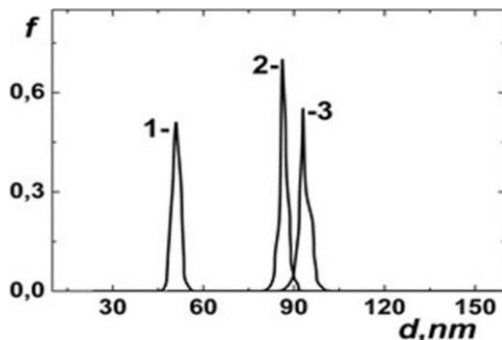
Dissertasiya işində PVDF+Fe əsaslı polimer nanokompozit nümunələrin nanodoldurucunun həcmi miqdarından asılı olaraq termik stabilliyi təhlil edilmişdir. 0,1% həcmi miqdarında Fe nanohissəciklərin PVDF matrisinə daxil edilməsi ilə parçalanma başlanğıc temperaturu  $410,92^{\circ}\text{C}$ -yə qədər azalır. Dəmir nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə başlanğıc parçalanma temperaturu daha aşağı temperaturlara doğru sürüşməyə başlayır. Belə ki, Fe nanohissəciklərinin 1% və 5% həcmi miqdarında nanokompozitlərin başlanğıc parçalanma temperaturları uyğun olaraq  $409,63^{\circ}\text{C}$  və  $402,80^{\circ}\text{C}$  təyin olunmuşdur. Buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, Fe nanohissəciklərin polivinildenflüorid matrisinə daxil edilməsi PVDF əsaslı nanokompozitlərin termostabilliyinin azalmasına gətirib çıxarır, polimer strukturunun dağılma prosesinin sürətlənməsinə səbəb olur.

Dissertasiya işində PP+Fe nanokompozitlərinə analogi olaraq PVDF+Fe əsaslı nanokompozitləri üçün də maqnit nanohissəciklərin paylanması maqnit xassələrə təsirinin nəzəri və eksperimental tədqiqi aparılmışdır. PVDF matrisinə daxil edilmiş Fe nanohissəciklərinin ölçüsünün onun polimer matrisdəki miqdarından asılılığına nəzər yetirdikdə həm kiçik, həm də böyük konsentrasiyalarda nanohissəciklərin PP matrisindəki ölçülərinə nəzərən daha böyük ölçülərdə formalaşması müəyyən olunmuşdur. Bu da SEM nəticələri ilə uzlaşır. Maqnit nanohissəciklərinin polimer matrisdə paylanması əvvəlki fəsildə qeyd olunan bir sıra faktorlarla yanaşı, həm də mühitin polyarlılığı və qeyri-polyarlılığından bu və ya digər şəkildə asılılığı amili meydana çıxır.



**Şəkil 10.** Fe nanohissəciyinin ölçülərinin onun PVDF matrisasında həcmi miqdarından asılılıq qrafiki: a) böyük konsentrasiyalar; b) kiçik konsentrasiyalar

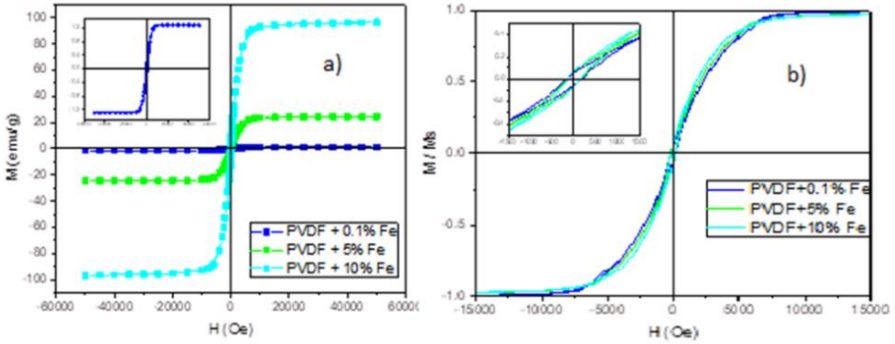
Digər tərəfdən paylanma əyrilərindən görüldüyü kimi (şəkil 11) 0.1% Fe nanohissəciyi əlavə edilmiş nanokompozitdə nanohissəciklərin ölçüsü 45-60 nm, PVDF+5% Fe nanokompozitində 75-90 nm, nanohissəciyin 10% həcmi miqdarında isə 90-115 nm aralığında dəyişir.



**Şəkil 11.** Fe nanohissəciklərinin 0.1% (1), 5% (2) və 10% (3) konsentrasiyalarda PVDF polimerində ölçülərinə görə normal-loqarifmik paylanma əyriləri

PVDF+0.1% Fe, PVDF+5% Fe, PVDF+10% Fe nanokompozitlərinin maqnit xassələri ölçülərək maqnitlənmə əyriləri qurulmuşdur. Şəkil 12-də PVDF+Fe əsaslı maqnit polimer nanokompozitlərin eksperimental olaraq xüsusi maqnitlənməsinin maqnit sahəsinin qiymətindən asılılığı verilmişdir.

Maqnitlənmə əyrilərindən görüldüyü kimi xüsusi maqnitlənmənin maqnit sahəsindən asılılığında ferromaqnitlərə xas olaraq histerezis ilgəyi alınır. Maqnit nanohissəciyin kiçik həcmi miqdarında nanokompozit



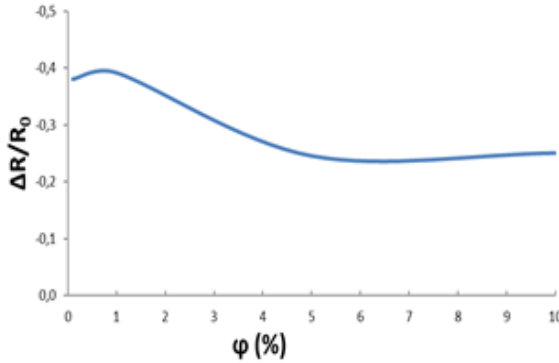
**Şəkil 12.** PVDF+Fe nanokompozitlərinin ( $T=300$  K): a) maqnitlənmənin xarici sahənin intensivliyindən asılılığı; b) normallaşmış maqnitlənmənin xarici sahənin intensivliyindən asılılığı

çox aşağı maqnitlənmə ilə xarakterizə olunur. Belə ki PVDF+0.1% Fe nanokompozitində qalıq maqnitlənmənin nanohissəciyin qalıq maqnitlənməsinə nisbəti 1.07% təşkil edir və demək olar ki, özünü diamagnet kimi aparır. Lakin Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarının artmasına uyğun olaraq bu nisbət PVDF+5% Fe üçün 24.7%, PVDF+10% Fe nanokompoziti üçün isə 96.9% təşkil edir. PVDF+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərinin doyma maqnitlənməsi Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarının artması ilə qeyri-xətti qanunla artır. Zənnimizcə, bu, nanohissəciklərin polimer matrisdə həcmi miqdarının artması ilə polimer matrisin vasitəçiliyi ilə dipol və digər qarşılıqlı təsirlər nəticəsində səth spinlərinin istiqamətlənməsi, yaxud da nanohissəciklərin polimer matris, eləcə də öz aralarındakı və fazalaraarası qarşılıqlı təsirin təbiəti ilə əlaqədardır.

PVDF matrisində Fe nanohissəciyinin həcmi miqdarının artması ilə maqnit müqaviməti artır və ən böyük qiymətini nanodoldurucunun 1% konsentrasiyasında alır. Fe nanohissəciyinin PVDF matrisinə daxil edilməsi ilə PVDF/nanohissəcik fazalarası sərhəddə maqnitoelektrik əlaqənin yaranması nəticəsində nanokompozit multiferroik xassə kəsb edir. Bu zaman polyarlaşmış elektrik sahəsi Fe nanohissəciklərinin maqnitlənmə istiqamətini dəyişərək fazalalararası spindən asılı keçid ehtimalını artırır. PVDF matrisində Fe nanohissəciyinin həcmi miqdarının 1%-dən yuxarı qiymətlərində maqnitorezistiv effektdə zəifləmə müşahidə olunur ki, bu da qeyd olunduğu kimi maqnit nano-

hissəciklərin polimer matrisdə həcmi miqdarının artması nəticəsində ölçülərinin böyüməsi ilə əlaqədardır.

Müəyyən olunmuşdur ki, Fe nanodoldurucusunun həcmi miqdarının artması PVDF+Fe nanokompozitlərinin mexaniki möhkəmliyi artmağa başlayır. Bu artım nanohissəciyin 1% həcmi miqdarına kimi davam edir. Lakin Fe nanohissəciyinin konsentrasiyasının sonrakı artımı onun mexaniki möhkəmliyinin azalmasına gətirib çıxarır. PVDF+Fe nanokompozitlərinin mexaniki möhkəmliyinin kiçik konsentrasiyalarda artması bu kompozitlərdə Fe nanohissəcikləri ilə PVDF matrisi arasındakı yaxşı fazalararası adgeziya ilə əlaqələndirilir ki, bu da mexaniki gərginliyin polimer matrisdən nanohissəciyə effektiv ötürülməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə, yük iki faza arasında effektiv paylanmış olur. Fazalararası təbəqə yükün ötürülməsi prosesinə fundamental təsirə malikdir. Belə ki, matrisə, nanohissəciklər və fazalararası təbəqə arasındakı mexaniki qarşılıqlı təsir kompozitin əsas mexaniki xassələrinə təsir edir.



**Şəkil 13.** PVDF+Fe əsaslı nanokompozitlərin maqnit müqavimətinin doldurucunun həcmi miqdarından asılılığı

Alınmış nəticələr göstərir ki, bir qayda olaraq elektromaqnit dalğalarını udma xassəsinə malik olmayan (polimer, şüşə, keramika) matrisin nanodoldurucu qisminə metallik və ya ferromaqnit yüksəkdispers maddələrlə modifikasiyası elektromaqnit dalğalarını udan müxtəlif örtüklərin yaradılmasına imkan verir. PP+Fe nanokompozitlərində elektromaqnit dalğalarının udulması nanodoldurucunun həcmi miqdarından və həmçinin nümunənin qalınlığından asılı olaraq tədqiq edilmişdir.

Nümunələr  $0.1 \div 30$  QHs – yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarının təsirinə məruz qoyulmuşdur. Fe nanohissəciklərinin polimer matrisə daxil edilməsi ilə onun elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyəti qismən də olsa artır. Bu artım Fe nanohissəciklərinin 20%-ə qədər konsentrasiyasında müşahidə olunur. Digər tərəfdən yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarının udulmasına nanokompozitlərin qalınlığının təsiri də tədqiq edilmişdir. Nanohissəciyin eyni həcmi miqdarında lakin müxtəlif qalınlıqlarında alınan PP+Fe nanokompozitinin elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyəti müxtəlifdir. Belə ki, PP+30% Fe nanokompozitinin 300 mkm qalınlığında bu 2.7% təşkil edirsə, 1 mm qalınlığa malik eyni nümunə üçün bu qiymət təxminən 2.5 dəfə çox 6.9% təşkil edir. Yəni, nümunənin qalınlığının artması ilə nanokompozitlərin elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyəti də yüksəlir. PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyətinin nanodoldurucunun konsentrasiyasının artması ilə yüksəlməsini kompleks dielektrik nüfuzluğunun artması və dielektrik/maqnit itkilərinin meydana gəlməsi səbəbi ilə izah etmək olar. Digər tərəfdən nanokompozitlərdə qeyd olunan fazada Fe nanohissəcikləri və polimer arasında yaranan fazalararası relaksasiya elektromaqnit dalğalarının udulması üçün münbit şərait yaratmış olur, enerji itkilərinə gətirib çıxarır. Beləliklə, PP+Fe nanokompozitləri elektromaqnit dalğalarını udma xüsusiyyəti ilə xarakterizə olunaraq müxtəlif texnoloji tətbiqlər üçün perspektivli hesab olunur.

## NƏTİCƏ

1. Müəyyən olunmuşdur ki, Fe nanohissəciklərinin həcmi miqdarının müəyyən qiymətlərində PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin rentgen quruluş spektrlərindəki maksimumların intensivliyinin artması nanokompozitlərin kristallaşma dərəcəsinin artması ilə əlaqədardır, dispers Fe nanohissəcikləri polikristallik quruluşa malik PP-nin amorf fazasında qərarlaşaraq quruluş mərkəzləşdirici funksiyasını yerinə yetirir və nanokompozitdə amorf fazanın payının azalmasının səbəbidir.

2. PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərində doyma maqnitlənmənin Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq qeyri-xətti

qanunla artması polimer matrisdə əsasən dipol qarşılıqlı təsirlər nəticəsində səth spinlərinin istiqamətlənməsi, habelə nanohissəciklərin polimer matrislə, öz aralarındakı və ya fazalaraarası qarşılıqlı təsirin təbiəti ilə əlaqədardır.

**3.** Müəyyənləşdirilmişdir ki, Fe nanohissəciklərinin həm konsentrasiyasının, həm də ölçülərinin artması nanokompozitlərin keçiriciliyinin artmasına səbəb olur. Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasından asılı olaraq dielektrik nüfuzluğunun azalması nanokompozitlərin polyarlaşma qabiliyyətinin azalmasını göstərir.

**4.** Fe nanohissəcikləri daxil edilmiş nanokompozitlərdə maqnitorezistiv effekt müşahidə edilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, mənfi maqnit müqaviməti elektronların nanokompozitin matrisi ilə izolə edilmiş maqnit nanohissəcikləri arasında spindən asılı olaraq tunnel etməsi ilə əlaqədardır.

**5.** Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin kristallaşma temperaturu artır və onların termostabiliyi konsentrasiyanın optimal qiyməti, habelə fazalararası sahədə polimerlə doldurucu (Fe) arasındakı qarşılıqlı təsirlə müəyyən olunur.

**6.** Müəyyən olunmuşdur ki, 1%-ə qədər konsentrasiyaya qədər Fe nanohissəcikləri daxil edilmiş PP+Fe və PVDF+Fe nanokompozitlərinin mexaniki möhkəmliyi təmiz (nanohissəcik daxil edilməmiş) polimerlə müqayisədə böyükdür və konsentrasiyanın sonrakı artımı mexaniki möhkəmliyin azalmasına səbəb olur. Kiçik konsentrasiyalarda nanokompozitin optimal mexaniki parametrlər nümayiş etdirməsi Fe nanohissəciklərinin quruluş əmələgətirici özək rolunu və böyük konsentrasiyalarda quruluş dağıcı rol oynadığını sübut edir.

**7.** PP+Fe əsaslı polimer nanokompozitlərin yüksək tezlikli elektromaqnit dalğalarını udma qabiliyyətinin Fe nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə yaxşılaşması kompleks dielektrik nüfuzluğunun artması, dielektrik/maqnit itkiləri, habelə nanohissəcik və polimer arasındakı fazalararası relaksasiya ilə müəyyənləşir.



## Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər

1. Ramazanov, M.A. The magnetic polymer nanocomposite materials based on polypropylene and iron nanoparticles: synthesis and structure / M.A. Ramazanov, A.M. Maharramov, J.R. Sultanova [et al.] // Journal of Ovonic Research, – 2016. 12 (4), – p. 193-200.
2. Magerramov, A.M., Ramazanov, M.A., Hajiyeva, F.V. Study of the Structure and Dielectric Properties of Nanocomposites Based on Polypropylene and Zirconia Nanoparticles // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, – 2013. 49(5), – p. 355-358.
3. Ramazanov, M.A. Theoretical and Experimental Study of the Magnetic Properties and Size of Distribution of PVDF+Fe Based Nanocomposites / M.A. Ramazanov, R.A. Alizade, A.M. Maharramov [et al.] // Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, – 2017. – p. 2179-2186, <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0863-2>.
4. Ramazanov, M.A. Thermal and mechanical properties of PP+Fe and PVDF+Fe based nanocomposites / M.A. Ramazanov, A.M. Maharramov, J.R. Sultanova [et al.] // Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials, – 2018. 10 (3), – p. 83-90.
5. Maharramov, A.M., Ramazanov, M.A., Sultanova, J.R. Magneto-resistance effect in PP+Fe based nanocomposite system // Integrated ferroelectrics, – 2018. Vol 192, – p.141-145.
6. Рамазанов, М.А., Султанова, Дж.Р. Структура и диэлектрические свойства полимерных нанокomпозиционных материалов на основе железа в матрице поливинилиденфторида // Электронная обработка материалов, – 2019. 55(5), – с. 38–42.
7. Sultanova, C.R. Polivinildenflüorid və dəmir nanohissəcikləri əsasında polimer maqnit nanokompozitlərinin alınma texnologiyası və quruluşu // – Bakı: Energetikanın problemləri elmi texniki jurnalı, AMEA, – 2019. №3, – s. 95-101.
8. Sultanova, C.R. Polimer əsaslı PP+Fe nanokompozitlərinin nano-doldurucunun miqdarından asılı olaraq dielektrik xassələrinin tədqiqi // Azerbaijan Journal of Physics, – 2020. Vol. XXVI, N02,

– p. 34-39

9. Ramazanov, M.A. Magnetic Properties of Iron Nanoparticles Distributed in Polymer Matrix: Theoretical and Experimental Approach / M.A. Ramazanov, J.R. Sultanova, F.V. Hajiyeva [et al.] // *Acta Physica Polonica A*, – 2020. 6 (138), – p. 787-793.
10. Musayeva, G.M., Rəhmətova, C.R. PP+Fe əsasında maqnit nanokompozitlərin strukturunun optik və elektron mikroskopu ilə tədqiqi. Gənc Tədqiqatçıların və Magistrantların «Fizika və Astronomiya Problemləri» // VIII Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı, – 2013, – s.131-133.
11. Sultanova, C.R., Ramazanov, M.Ə., Hacıyeva, F.V. Polipropilen və dəmir nanohissəcikləri əsəsindəki nanokompozitlərin maqnit–qüvvə mikroskopiyası (MQM) ilə tədqiqi // «Fizikanın Aktual Problemləri», Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları. Bakı, - 2013, - s. 234-235.
12. Sultanova, J.R., Ramazanov, M.A. Structure and dielectric property studies of nanocomposites based on polyvinilidenfluorid and iron nanoparticles // *International Conference Modern Trends In Physics*, – Bakı, – 1 – 3 May, 2019. – p. 85-86.

Dissertasiyanın müdafiəsi **30 mart 2022-ci il** tarixində saat **15<sup>00</sup>-da** Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən **BFD 2.19** Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç. 33, Bakı Dövlət Universiteti, Əsas bina, 316 saylı auditoriya.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat **25 fevral 2022-ci il** tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

**Çapa imzalanıb: 10.02.2022**  
**Kağızın formatı: A5 (60×90 1/16)**  
**Həcm: 36 550 işarə**  
**Tiraj: 100 nüsxə**