

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

LAYLI İKİLİ HİDROKSİDLƏRİN, KEÇİD METAL OKSİD VƏ SULFİDLƏRİNİN POLİMER NANOKOMPOZİTLƏRİNİN ALINMASININ FİZİKİ- KİMYƏVİ ƏSASLARI

İxtisas: 2317.01- Nanokimya və nanomateriallar

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Ofeliya Oqtay qızı Balayeva**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: kimya elmləri doktoru, professor
Abdulsəyid Əbdülhəmid oğlu Əzizov

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Vaqif Məhərrəm oğlu Abbasov;

AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
İslam İsrafil oğlu Mustafayev;

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

AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, dosent
Əliəddin Dəyyan oğlu Abbasov.



Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.16 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: kimya elmləri doktoru, professor
İbrahim Qərib oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının
Elmi katibi: kimya elmləri doktoru, dosent
Fərid Nəzir oğlu Nağıyev

Elmi seminarın sədri: AMEA-nın həqiqi üzvü, kimya
elmləri doktoru, professor
Vaqif Əbdicəf oğlu Fərzəliyev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Son tədqiqat işləri göstərir ki, nanotexnologiyanın intensiv inkişafı ilə əlaqədar polimer əsaslı nanokompozit materiallara maraq günbəgün artmaqdadır. Elektronikanın, optikanın və fotonikanın perspektiv gələcəyi üçün xüsusi xassələrə malik cihazların ağıllı və özünü idarə edən sistemlərə inteqrasiyası əsas məqsədlərdəndir. Nanoelmdə obyektlərin böyük hissəsini metalların hidrokisidləri, oksidləri, sulfidləri və polimer nanokompozitləri təşkil edir.

Laylı ikili hidrokisidlər (LİH) perspektivli materiallar olub katalizdə, əczaçılıqda, biokimyada, fotonikada, elektrokimyəvi proseslərdə, o cümlədən, üzvi, qeyri-üzvi çirkləndiricilərin sulu məhlullardan sorbsiyasında, foto-, elektro, sonokimyəvi parçalanmasında ion dəyişdirici, sorbent və katalizator kimi istifadə edilir. Son zamanlar polimer/LİH nanokompozitlərinin hazırlanması əsasən iqtisadi cəhətdən çox maraqlıdır. Polimer makromolekulları LİH-lərin laylararası boşluğuna daxil edildikdə LİH-lərin təşkil olunduğu ikili hidrokisid təbəqələri arasındakı məsafəni polimerdən və metoddan asılı olaraq genişləndirmək mümkündür ^{1, 2}.

Yarımkeçirici nanoquruluşlar olan keçid metalların oksidləri antimikrob aktivliyə, sensor qabiliyyətinə, sorbsiya, katalitik və s. xassələrə malik perspektivli nanomaterial kimi böyük maraq doğurmuşdur. Üçlü metal sulfid yarımkeçirici nanohissəciklərin sintezi və modifikasiyası onların ölçü və formadan asılı olaraq xassələrinin effektiv dəyişməsinə, fotovoltaiq, katalitik, fotoelektrik, fotosensor və s. xüsusiyyətlərinə görə son illərdə bir çox alimlərin diqqətini cəlb etmişdir. Hal-hazırda tərkibində üzvi və qeyri-üzvi çirkləndiricilər və svitterionlar olan multiçirkləndiricilər üçün daha

¹ Béres, A. Layered double hydroxides and their pillared derivatives – Materials for solid base catalysis; synthesis and characterization / A. Béres, I. Pálinkó, I. Kiricsi [et al.] // Applied Catalysis A: General, - 1999. 182, - p. 237–247.

² Bukhtiyarova, M.V. A review on effect of synthesis conditions on the formation of layered double hydroxides / M. V. Bukhtiyarova // Journal of Solid State Chemistry, - 2019. 269, - p. 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2018.10.018>

seçici və effektiv fotokatalizatorların araşdırılmasına hələ də ehtiyac vardır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqat obyektləri kimi polivinil spirti (PVS), butadien nitril kauçuku (BNK) və funksionallaşmış nitril kauçuku (FNK) polimer matris, CoCr, CoAl, ZnAl, NiAl, NiZnAl tərkibli LİH-lər, ZnO və $Zn_6Al_2O_9$ metal oksidlər, ZnS, CdS, Cu_xS binar və $Ni_xZn_{1-x}S$, $Cd_xZn_{1-x}S$, $CuCdS_2$ üçlü sulfidlər nanohissəciklər, qələvi-torpaq-(Ca, Sr), keçid-(Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Fe), nəcib-(Ag) və nadir-torpaq-(La) elementləri isə aşqar elementlər kimi seçilmişdir. Dissertasiya işinin əsas predmeti, sadalanan nanohissəciklər və polimerlər əsasında yeni nanokompozitlərin alınması, onların tədqiqi, ölçü-quruluş-xassə əlaqələrinin öyrənilməsi, sorbsiya, fotokatalitik oksidləşmə və digər tətbiq sahələrinin araşdırılmasından ibarətdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Müxtəlif qatılıqlı qələvi məhlullardan istifadə etməklə ZnAl, CoAl, CoCr, NiZnAl, CdZnAl əsaslı LİH-lərin və oksidlərin sintezinə reaksiya parametrlərinin, metal ionlarının nisbətinin təsirini öyrənmək, onların nanokompozitlərini hazırlamaq, sorbsiya və fotokatalitik aktivliyini öyrənmək, alınmış LİH-ləri müxtəlif elementlərlə aşqarlamaq, metalların təbiətinin fotoaktivliyə təsirini araşdırmaq, təhlükəli sintetik boyaların, fenol və fenolun toksik törəmələrinin sulu məhlullardan sorbsiya və fotodeqradasiyasını aparmaqdır. Bundan əlavə, Cd, Zn, Cu, Co və Ni metallarının binar sulfidlərinin işığa həssas olduğunu və foto-elektriklər, sensorlar, termiki agentlər kimi bir çox sahələrə tətbiq edildiyini bilərək, onların üçlü sulfidlərini sintez etmək və fotokatalizdə tətbiqi araşdırmaq tədqiqatın əsas məqsəd və vəzifələrinə aiddir.

Tədqiqat metodları. Nanokompozitlərin sintezində SİLAR, birgə çökmə, birgə formalaşma, karbamidlə hidroliz, ion mübadilə, interkalyasiya, termiki tablama, ultrasəs-, maqnit- və mexaniki-qarışdırma, oksidləşmə-xlorfosforlaşma, aşqarlama kimi metodlar istifadə edilmişdir. Alınmış nanokompozitlərin analizində, sorbsiya və fotokatalitik oksidləşmədə skanedic elektron mikroskopu (SEM), rentgen difraktometri (RD), ultrabənövşəyi (UB) spektroskopiya, infraqırmızı (İQ) spektroskopiyası, elektron paramaqnit rezonans

(EPR), Brunauer-Emmet-Teller (BET), termoqravimetrik analiz (TQA), differensial skanedici kalorimetr (DSK), fotolüminessensiya (FL) və optiki emission spektroskopiya (İCP-OES) kimi müasir və ənənəvi tədqiqat metodlarında istifadə olunmuşdur.

Müəfiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Göstərilmişdir ki, reaksiya parametrlərini, reagentlərin işlənmə ardıcılığını, metal ionlarının qatılıqları nisbətini, interkalyasiyaedici agentləri, anionların təbiətini və polimerin tərkib faizini dəyişməklə, nanohissəciklərin xassələrinə, ölçüsünə, qadağan olunmuş zonanın eninə, morfologiyasına, sorbsiya və fotokatalitik xassələrinə təsir etmək mümkündür.

2. CoCr-LiH –ini əmələ gətirən metalların ion radiusları bir-birinə yaxın olduqda belə çox yüksək qatılıqlı qələvi məhlulda da reaksiya yüksək kristallaşma ilə nəticələnmişdir.

3. Qələvi məhlulun yüksək qatılıqlarından (2M və 5M NaOH) istifadə etməklə sintez olunmuş ZnAl-LiH_{5M} və ZnAl-LiH_{2M}-nanohissəciklərinin roentgen difraktometrinə görə LiH ilə yanaşı əmələ gələn ZnO fazasının xarakterik pikləri Al-un amfoter xassələri ilə əlaqədardır.

4. Birgə formalaşma metodu ilə sintez olunmuş ZnAl-LiH/PVS nanokompozitində PVS-ə uyğun (19,17°) difraksiya piki nanokompozitin əmələ gəlməsi ilə yuxarı difraksiya bucağına doğru (20°) sürüşmüş, PVS-in LiH vasitəsilə tikilməsi getmişdir. Nanokompozitin tərkibindəki ZnO və Zn₆Al₂O₉ nanokristalları üçün Zn-O əlaqəsinə aid iki növ optiki elektron keçid oksigenin dolmuş 2p orbitalları ilə Zn-in 4p və 4s orbitalları arasında, eləcə də Zn₆Al₂O₉ kristalında oksigenin dolmuş 2p orbitalları ilə Al³⁺ ionunun boş 3s və 3p orbitalları arasında elektron keçidi müəyyən edilmişdir.

5. ZnAl qarışıq oksid/PVS –in Pb²⁺ ionlarına görə maksimal sorbsiya tutumu 180 dəqiqədə 1000 mq/q olmuş, sorbsiya dərəcəsi ~97%-ə çatmışdır.

6. Tartrazin, Ponso 4R (P4R) və Patent abısı V (PA-V) boyaq maddələrinin ZnAl-LiH/PVS nanokompozitində sorbsiyasından sonra LiH-ə məxsus difraksiya piklərinin aşağı bucaqlara doğru sürüşməsi və hissəciklərinin orta ölçüsünün artması LiH laylarının interkalasiyası ilə izah olunmuşdur. Fotodeqradasiyanın effektivliyi

P4R boyaq maddəsinin 12 mq/l ilkin qatılığında maksimal qiymətə (89,7%) çatmış, Langmuir sabitinin qiyməti ($K_L = 0,102$) Langmuir – Hinshelwood sabitinin qiymətinə ($K_{L-H} = 0,094$) yaxın olmuşdur. Bircins səthdə aktiv mərkəzlər eyni sorbsiya enerjisinə malik olduğundan, elektrostatik qüvvələr hesabına svitterion molekullarının LİH-lərdə sorbsiyası artmışdır.

7. $CuCdS_2$ nanoquruluşları üçün ilk dəfə müşahidə olunan geniş qadağan olunmuş zonanın eni ($\sim 3,6$ eV) məhdud həcmli FNK matrisində daha kiçik hissəciklərin əmələ gəlməsi ilə izah olunmuşdur.

8. SİLAR metodla $Cd_xZn_{1-x}S$ nanohissəciklərinin növbəli sintezi zamanı heteroquruluşlar əmələ gəlmişdir. Nukleasiyanı CdS ilə apardıqda Cd^{2+} və Cd^0 -a uyğun piklərin əmələ gəlməsi kadmiumun sinkə nəzərən az fəal və reduksiyaya meyilli olması ilə əlaqədardır.

9. Fülleren (C_{60}) molekullarının ZnAl-LİH/PVS nanokompozitinə qeyri-kovalent aşqarlanması ilə nanokristallitlərin orta ölçüsü 8 nm-dən ~ 20 nm-ə qədər artmış və dislokasiya sıxlığı (δ) $0,0127$ nm²-dən $\sim 0,003$ nm²-ə qədər azalmışdır. C_{60} -la aşqarlanmış ZnAl-LİH/PVS nanokompozitində Metilen abısı (MA) və Konqo qırmızısının (KQ) parçalanması uyğun olaraq $\bullet O_2$ anion radikalları və $\bullet OH$ radikalları ilə getmişdir.

10. ZnAl LİH/PVS-in aşqarlanması hopdurulma metodu ilə aparılmışdır. Aşqar elementlərin təbiətinin h^+ və e^- cütlərinin rekombinasiyasına birbaşa təsir göstərdiyi müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. İşdə ilk dəfə olaraq:

1. CoCr-LİH-ini əmələ gətirən metal ionlarının radiusu bir-birinə yaxın olsa da yüksək qatılıqlı qələvi məhlullarda (10M və 20M NaOH) reaksiya yüksək kristallaşma ilə getmişdir;

2. ZnAl-LİH və ZnAl-oksidi nanoquruluşları digər analoqları ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə aşağı qadağan olunmuş zonanın eninə malik olduğundan optiki cihazlar, qaz sensorları, fotosensorlar və fotokatalitik tətbiqlərdə perspektivli materiallar ola bilər.

3. $CuCdS_2$ nanohissəciklərinin temiki tablanması işlənmiş, yeni oksid fazanın ($CuCdO_2$) əmələ gəlməsi müşahidə edilmişdir.

4. Digər sorbentlərlə müqayisədə ZnO- Al_2O_3 /PVS nanokompoziti qurğuşun (II) ionlarını (Pb^{2+}) tullantı sularından

səmərəli çıxarmaq üçün yüksək sorbsiya-desorbsiya qabiliyyəti nümayiş etdirmişdir ($ST_{maks.} = 1000 \text{ mq/q}$).

5. ZnAl-LiH/PVS nanokompoziti ilə tartrazin, P4R və PA-V sintetik qida boylarının sorbsiya və fotokatalitik parçalanması yüksək effektivliklə getmişdir. ZnAl-LiH/PVS fotokatalizatorunun fotodeqradasiya dərəcəsi (FD%) hər sonrakı dövrdə intensiv artmış, 4-cü dövrdən sonra 99,99%-ə çatmışdır.

6. Kation tipli boyların anionit gillər olan LiH-lərdə sorbsiyasını və fotodeqradasiyasını artırmaq məqsədi ilə C_{60} -la və müxtəlif elementlərlə (Ca, Sr, Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Fe, Ag, La) aşqarlanma və anion tipli boylarla birgə çıxarılma tətbiq edilmiş, sorbsiya və fotodeqradasiya dərəcəsi kəskin artmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

1. Natrium stearatla (NaSt) interkalyasiya edilmiş CoCr-LiH-in bazal məsafəsi 7,366 Å-dən 25,214 Å-ə qədər artmışdır. Bazal məsafənin genişlənməsi yüksək baryer effektivinə malik yeni polimer nanokompozitlərin alınması üçün əlverişlidir. Bu yolla alınan termiki davamlı, alov ləngidən və qaz keçirməyən ultranazik nanokompozitlərin sənaye miqyasında tətbiqi çox əhəmiyyətlidir.

2. ZnAl-LiH və ZnAl-oksidi quruluşları digər analoqlarla müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə aşağı qadağan olunmuş zonanın enini göstərdiyindən alınan nanomateriallar aşağı enerjiddə işləyə bilən fotokatalitik cihazlar, qaz sensorları və fotosensorlar üçün perspektivlidir.

3. Ultrasəs qarışdırma ilə alınmış ZnAl-LiH/PVS nanokompozitlərindən hazırlanmış nazik təbəqələrdə şəffaflığın təyin olunması onların termotrop materiallara tətbiqini artırır. ZnAl-LiH_{karb} nümunəsində nanohissəciklərin ölçüsü böyük ($d = 22,37 \text{ nm}$) olduğundan kiçik qəfəs parametrinə ($a = 2,96 \text{ Å}$) malikdir və bu onda elektron keçid enerjisini (3,0 eV) azaltmaqla materialın optiki və elektronik istiqamətlərdə potensial tətbiqini artırır. Əldə edilmiş ZnAl-LiH-lər hidrogen yanacaq elementlərində, elektrik ötürücülərində, üzvi çirkləndiricilərin fotodeqradasiyasında fotokatalitik və elektrokatalitik aktiv materiallar kimi istifadə edilə bilər.

4. Yüksək qadağan olunmuş zonanın eninə malik CuCdS_2 nanohissəcikləri yüksək enerji, temperatur və təzyiqlərdə işləyən cihazlarda, yarımkeçirici lazerlərdə və s. tətbiq oluna bilər.

5. Yüksək kristallaşma, optiki xassələr, termiki, mexaniki davamlılıq nümayiş etdirən CdS/FNK , ZnS/FNK və CdZnS/FNK nanokompozitləri günəş panellərində, işığa həssas yarımkeçirici qurğularda və qaz sensorlarında tətbiq oluna bilər.

6. ZnAl -qarışıq oksid/PVS ağır metalların sulu məhlullardan sorbsiyası üçün əlverişli, təhlükəsiz və sərfəli sorbentlər olub onları ekoloji məqsədlər üçün tətbiq etmək olar. Regenerasiya olunmuş nanokompozitin sorbsiya qabiliyyəti, fotokatalitik aktivliyi və seçiciliyi istifadə edildikcə azalmamışdır.

8. Müxtəlif aşqar elementlər və C_{60} -la modifikasiya edilmiş LİH-lər kation tipli boyaq molekullarının sorbsiyasında və fotodegradasiyasında sənaye miqyasında tətbiq oluna bilər.

İşin aprobasiyası və tətbiqi: Dissertasiya işinin nəticələri 63 elmi işdə (24 məqalə və 39 tezis) şəklində yerli və xarici jurnallarda dərc edilmişdir. Məqalələrdən 14-ü Web of Science Clarivate Analytics və 2-si Scopus sistemində indekslənən jurnallarda çap olunmuş və onlara 315 istinad edilmişdir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri *Azərbaycanda, Türkiyədə və Gürcüstanda* keçirilən respublika və beynəlxalq konfranslarda məruzə edilmişdir: Akad. M. Nağıyevin anadan olmasının 110 illiyinə həsr edilmiş beynəlxalq konfrans, AMEA, **Bakı** 2018; Gənc tədqiqatçıların II, III və V Beynəlxalq elmi konfransı. Bakı Mühəndislik Universiteti; Bakı 2018, 2019, 2021; Ümummillî Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95, 96, 98, 99, 100-cü ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların XII, XIII, XV-ci Beynəlxalq, I, II Respublika Elmi Konfransı, BDU, **Bakı** 2018, 2019, 2021, 2022, 2023; The Chemistry of Coordination Compounds, Dedicated to the 85th anniversary of the Department of Analytical Chemistry, BDU, **Bakı** 2020; Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin 100 illiyinə həsr olunmuş Kimya Mühəndisliyinin Aktual Problemləri, ADNSU, **Bakı** 2020; 2nd International Conference on Light and Light-based Technologies (ICLLT) Gazi University, **Ankara**, 2021; Modern Trends in Physics. Bakı 2021;

6th International Conference “Nanotechnology”. *Tbilisi*, 2021; 1st International symposium on recent advances in fundamental and applied sciences (ISFAS-2021) Atatürk University, *Erzurum*, 2021; 1st international congress on natural sciences (ICNAS-2021)” Atatürk University *Erzurum*, 2021; I, II, IV, V ASES international health, engineering and sciences congress *Ankara, Eskisehir, Kayseri* 2022, 2023; International Conference: Modern Problems of Theoretical & Experimental Chemistry, *Baku* 2022; 9th International Conference on Materials Science and Nanotechnology for Next Generation Gazi University, *Ankara* 2022; Mediterranean International Conference on Research in Applied Sciences, *Antalya*, 2022, IV Baskent International conference on multidisiplinary studies, *Ankara* 2023.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı: Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

İddiaçının şəxsi töhfəsi. Məsələlərin qoyulması, ədəbiyyat məlumatlarının toplanması, analizi və icmal, tədqiqatın planlaşdırılması və təcrübələrin aparılması, nümunələrin hazırlanması, nəticələrin sistemləşdirilməsi, analizi, izahı, fiziki-kimyəvi analizlərin aparılması və izahı, məqalə və tezislərin hazırlanması, tərtibi və çapa təqdim edilməsi müəllifin birbaşa iştirakı ilə həyata keçirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi 398 səhifədən (375 276 işarədən), girişdən (30 548), 7 fəsildən, (birinci fəsil-99 803 işarə, ikinci fəsil-43 433 işarə, üçüncü fəsil-30 706 işarə, dördüncü fəsil-9 690 işarə, beşinci fəsil-50 486 işarə, altıncı fəsil-54 920 işarə, yeddinci fəsil-40314 işarə) əsas nəticələrdən (15 376) və 481 adda ədəbiyyat istinadından ibarətdir. Dissertasiyaya həmçinin 121 şəkil, 54 cədvəl və sxem daxildir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə işin aktuallığı, əsas məqsədi, elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan müddəalar şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə tədqiqatın mövzusunə aid geniş ədəbiyyat mənbələri araşdırılaraq sistemləşdirilmiş, təsnifləşdirilmiş və analiz

edilərək şərh edilmişdir. LİH-lərin, keçid metalların ikili və üçlü sulfidlərinin və oksidlərinin nanohissəciklərinin və polimer nanokompozitlərinin sintez metodlarına, modifikasiyasına, xassələrinə və tətbiqinə baxılmış, texnoloji parametrlərin nanokompozitlərin xassələrinə təsiri, ölçü-xassə-quruluş əlaqələri araşdırılmış, tədqiqatın aktualığı üçün istiqamətlər təyin edilmişdir. Ədəbiyyat analizindən əldə olunan əsas nəticələr aşağıdakılardır:

Yüksək kristallaşmaya malik nanoölçülü LİH-lərin alınması mühitin pH-ından, qələvi mühit yaradan agentlərin təbiətindən, texnoloji şəraitdən, metoddan, metal ionlarının və interkalyasiyaedici anionların ion radiusundan, birgə çökmə sürətindən və s. amillərdən asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, ion radiusu bir-birinə yaxın olan metalların birgə çökməsi nəticəsində alınan LİH-lər yüksək kristallaşma nümayiş etdirir. İon radiusları ilə kəskin fərqlənən ikivalentli və üçvalentli metalların LİH-ləri üçün isə yüksək qatılıqlı qələvi məhlulundan istifadə etdikdə birgə çökmə və yüksək kristallaşmaya nail olmaq mümkündür.

LİH-lərin polimerlərlə əmələ gətirdiyi nanokompozitlər mexaniki, temiki, elektrik, səth, quruluş və s. xassələrinə görə sənaye əhəmiyyətli materiallardır. Polimer makromolekulları LİH-lərə interkalyasiya edildikdə LİH-lərin təşkil olunduğu ikili hidrokسيد təbəqələri arasındakı məsafəni polimerdən və metoddan asılı olaraq 0.2 nm-dən 5 nm-ə kimi genişləndirmək mümkündür. İnterkalyasiyaedici agentlərin təbiətini, quruluş və ölçüsünü, mühitin parametrlərini idarə etməklə əhəmiyyətli dərəcədə interkalyasiyaya nail olmaq mümkündür.

Keçid metalların ikili və üçlü oksidlərinin nanoquruluşları yarımkeçirici materiallar olub yüksək fotokatalitik aktivliyə, sensor qabiliyyətinə, sorbsiya, antimikrob və s. xassələrə malikdir. Onları birbaşa oksidləşmə ilə LİH-lərdən və sulfidlərdən sintez etmək olar. Bu zaman alınan nanoquruluşlar ilkin maddənin ölçü və xassələrini müəyyən qədər özündə saxlayaraq, onları modifikasiya etmək və yaddaş effekti vermək mümkündür.

Təbiətinə və xassələrinə görə yaxın və ya oxşar elementlərin üçlü sulfid nanohissəciklərinin alınmasına mülayim şəraitdə nail olmaq

mümkün olduğu halda, təbiətinə görə kəskin fərqlənin metalların birgə sulfidləşməsi xüsusi şərait və yüksək nəzarətli mühit tələb edir.

İkinci fəsilə tədqiqat zamanı aparılan bütün təcrübi işlərin gedişi şərh edilmiş, nanomaterialların kristal qəfəs parametrlərinin, qadağan olunmuş zonanın eninin (E_g), sorbsiya izotermələrinin, sorbsiyanın və fotodeqradasiyanın kinetikasının hesablanması, təyini, tədqiqat üsulları və nümunələrin analizə hazırlanması verilmişdir.

CoCr, CoAl, ZnAl, CdAl və NiAl əsaslı LİH-lərin sintezi və polimerlə nanokompozitlərinin hazırlanması: 0.015 mol ikivalentli metal və 0.005 mol üçvalentli metal [alüminium sulfat okta-dekahidrat $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (və ya xrom (III) sulfat nonahidrat $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$)] duzlarının qarışıq məhlulları hazırlanmış, alınmış qarışıqlara ayrı-ayrılıqda 0.1 mol karbamid/ammonium sitrat və 10 %-li PVS əlavə edilmişdir. Qarışıq məhlullar 1M $NaHCO_3$ və 2M NaOH qarışığı ilə titrlənmiş, son məhlulların pH-ını 10-a gətirmək üçün 5M NaOH məhlulu damcı-damcı əlavə edilmiş və $90^\circ C$ -də 72 saat qızdırılmışdır. Alınmış nümunələr $Me(II)Me(III)-LİH_{(karb.)}$, $Me(II) Me(III) LİH_{(AS)}$ və $Me(II) Me(III) LİH_{(karby)/PVS}$ kimi adlandırılmışdır.

CoCr LİH-lərinin stearin turşusu (St) və natrium stearatla (NaSt) modifikasiyası. Əvvəlcə St-nun spirtə, NaSt-ın isə suda məhlulları hazırlanmış və CoCr LİH-ləri əlavə edilərək $90^\circ C$ –də 4 gün qızdırılmışdır. Yüksək qarışdırma və çalxalanma tətbiq etməklə interkalyasiya sürətləndirilmişdir. Nümunələr $CoCr-LİH_{(100^\circ C)/St}$, $CoCr-LİH_{(25^\circ C)/St}$, $CoCr-LİH_{(90^\circ C)/St}$ və $CoCr-LİH_{(100^\circ C)/NaSt}$, $CoCr-LİH_{(90^\circ C)/NaSt}$, $CoCr-LİH_{(25^\circ C)/NaSt}$ kimi adlandırılmışdır.

LİH-lərin yüksək qatılıqlı qələvi mühitdə sintezi. Yuxarıda göstərilən qarışıq duz məhlulları hazırlandıqdan sonra 2, 5, 10 və 20 M NaOH məhlulları ilə çökdürülmüş, nümunələr NaOH-ın qatılığına görə $Me(II)Me(III)-LİH_{(2M)}$, $Me(II)Me(III)-LİH_{(5M)}$, $Me(II)Me(III)-LİH_{(10M)}$, və $Me(II)Me(III)-LİH_{(20M)}$ kimi adlandırılmışdır.

ZnO, $Zn_6Al_2O_9$ və $ZnO-Al_2O_3$ ikili və üçlü oksid nanokristallarının sintezi və onların PVS ilə nanokompozitlərinin hazırlanması. Sink alüminium əsaslı LİH (ZnAl-LİH),-oksid (ZnO),- qarışıq oksid (ZnAl-qarışıq oksid) nanokompozitləri (ZnAl-qarışıq oksid/PVS) birgə çökmə və birgə formalaşma metodları ilə sintez

edilmişdir. Nümunələr ZnAl-LiH_{2M}, ZnAl-LiH_{5M}, ZnAl-LiH_{karb(2)} və ZnO-Al₂O₃/PVS kimi adlandırılmışdır.

ZnAl-LiH/PVS təbəqələrinin exsitu hazırlanması. Toz halında alınmış ZnAl-LiH_(karb.) nanohissəcikləri 0.5% (0.05q); 1% (0.1q) və 3% (0.3q) çəkilərək hər birinin üzərinə 5ml distillə suyu və PVS-in 10%-li məhlulundan 10 ml əlavə edilmiş, 24 saat mexaniki, 10 dəq ultrasəsə qarışdırılmışdır. Nümunələr tərkibindəki PVS-in miqdarına görə 0,1 % ZnAl-LiH_(karb.) + PVS, 1% ZnAl-LiH_(karb.)+ PVS, 3% ZnAl-LiH_(karb.) + PVS kimi adlandırılmışdır.

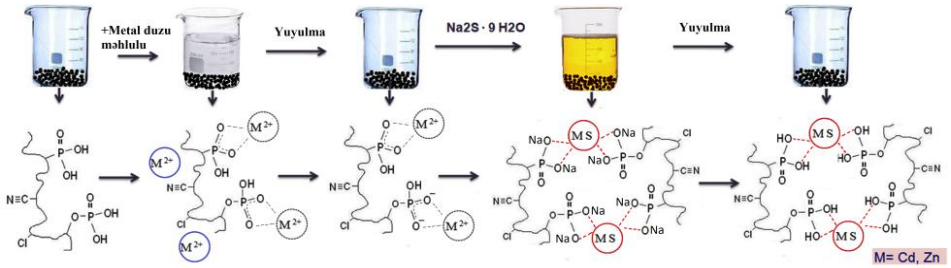
ZnAl-LiH təbəqələrinin PVS məhlulunda kristallaşması. Yuxarıda göstərilən qayda ilə hazırlanan duz məhlulları qarışığı PVS-in 10% li 40 ml məhluluna əlavə edilmiş, maqnit qarışdırıcı ilə 30 dəq qarışdırılmış və 5M 25 ml NaOH məhlulu ilə titrlənmişdir. Qarışıq 90°C-də 72 saat qızdırılmış, distillə suyu ilə yuyulmuş və havada qurudulmuşdur. Nümunə ZnAl-LiH/PVS kimi adlandırılmışdır.

ZnAl-LiH/PVS nanokompozitlərinin müxtəlif metallarla aşqarlanması. ZnAl-LiH/PVS-in qələvi torpaq- (Ca, Sr), keçid- (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Fe), nəcib- (Ag) və nadir torpaq- (La) elementləri ilə aşqarlanması hopdurulma metodu ilə aparılmışdır. Yaxşı qurudulmuş və kiçik hissələrə bölünmüş nanokompozitlər FeSO₄·7H₂O, Ni(NO₃)₂·6H₂O, Co(NO₃)₂·6H₂O, Pb(NO₃)₂, Cd(NO₃)₂·4H₂O, CuSO₄·5H₂O, CaNO₃, Sr(NO₃)₂·6H₂O, AgNO₃ duzlarının 1 mM məhlullarına əlavə edilmiş, 4 saat qaranlıqda saxlanılmış, 3 saat 90°C-də qızdırılmış, otaq temperaturuna qədər soyudulmuş, otaq şəraitində qurudulmuş və 150°C-də 7 saat termiki tablanmışdır. Nümunələr Me/ZnAl-LiH/PVS kimi adlandırılmışdır.

CdS, ZnS və CdZnS₂ üçlü sulfidlərinin FNK əsasında nanokompozitlərinin alınması. Oksidləşmə-xlorfosforlaşma üsulu ilə funksionallaşdırılmış nitril kauçuku (FNK)-tərkibində fosfon (-PO(OH)₂) və fosfat (-O-PO(OH)₂) qrupları olan kompozitdir. İkili sulfidlərin alınması üçün əvvəlcə 1M 50 ml ZnSO₄·7H₂O və 1M 50 ml CdCl₂·2.5H₂O suda məhlulları ayrı-ayrılıqda, üçlü sulfidlərin alınması üçün isə biryerdə qarışdırılaraq üzərinə 0.1 q FNK əlavə edilmişdir. 24 saatdan sonra distillə suyu ilə yuyulmuş və üzərinə 10 ml 0.1 M Na₂S · 9H₂O məhlulu əlavə edilmişdir. Proses 3, 5 və 15

SİLAR dövrlərində aparılmışdır. Alınmış nanokompozitlər CdS/FNK, ZnS/FNK, Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/FNK, Cd_{0.75}Zn_{0.25}S/FNK, Cd_{0.25}Zn_{0.75}S/FNK kimi adlandırılmış, təcrübənin sxemi Şəkil 1-də verilmişdir.

CuCdS₂ üçlü sulfidlərin FNK əsasında alınması. CuCdS₂ nanohissəciklərinin FNK matrisində sintezi üçün prekursor kimi CuCl₂·2H₂O, CdCl₂·2.5H₂O və Na₂S·9H₂O istifadə edilmişdir. Nukleasiyanı aparmaq üçün əvvəlcə optimal pH təyin edilmiş, hissəciklərin böyüməsi SİLAR üsulu ilə 3, 5 və 15 dövrdə həyata keçirilmişdir. Nümunələr dövrlərin sayına görə CuCdS₂/FNK(3d), CuCdS₂/FNK(5d) və CuCdS₂/FNK(15d) kimi adlandırılmışdır.



Şəkil 1. Metal sulfid nanohissəciklərinin SİLAR üsulu ilə tozşəkilli polimer matrisində formalaşma prosesi.

ZnO-Al₂O₃/PVS nanokompozitinin Pb²⁺ ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasına tətbiqi. 10⁻² M Pb(NO₃)₂ duzunun məhlulu hazırlanmış və işçi məhlulların hazırlanması üçün istifadə edilmişdir. Pb²⁺ ionlarının məhlulda qatılığı ICP-OES ilə müəyyən edilmişdir. Müxtəlif temperatur və zamanlarda ionların qatılıqları öyrənilərək, sorbsiyanın kinetikasi və termodinamikası izah edilmişdir. Sorbsiyanın mexanizmi Langmuir, Freundlich, Temkin və Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modelləri ilə öyrənilmişdir.

Boyaq maddələrinin sulu məhlullardan sorbsiyası və fotokatalitik parçalanması. Polimer iştirakında və polimersiz sintez olunmuş nanokompozitlərin fotokatalitik aktivliyi boyaq molekullarının günəş şüaları altında fotodeqradasiyası ilə öyrənilmişdir. Şüalanmadan öncə katalizatorada boyaq molekullarının sorbsiyası aparılmışdır. Sorbsiyanın tam tarazlığa gəlməsi üçün

katalizator bir gün qaranlıqda boyaq məhlulunda saxlanılmışdır. Fotodeqradasıyanın effektiv getməsini sürətləndirmək üçün optimal pH təyin edilmiş, nanokompozitlərin aşqarlanması, modifikasiyası və interkalyasiyası aparılmışdır.

Tədqiqat metodları və texnologiya. Alınmış nanomaterialların analizində skanedici elektron mikroskopu (SEM), işıqburaxan elektron mikroskopu (TEM), rentgen difraktometri (RD), ultrabənövşəyi (UB) spektroskopiya, infraqırmızı (İQ) spektroskopiyası, elektron paramaqnit rezonans (EPR), Brunauer-Emmet-Teller (BET), termogravimetrik analiz (TQA), fotoluminessensiya (FL), optiki emission spektroskopiya (İCP-OES), sorbsiya və fotokatalitik parçalanmanın təyin edilməsində isə ultrabənövşəyi (UB) spektroskopiya və fotoelektrokolorimetr (FEK) kimi müasir və ənənəvi tədqiqat metodlarından istifadə olunmuşdur.

Üçüncü fəsilə sintez olunmuş LİH-lərin və onların polimer nanokompozitlərinin fiziki-kimyəvi tədqiqat metodları ilə analizi aparılmış, əldə edilmiş nəticələrinin müzakirəsi əsaslı və geniş şərh edilmiş, quruluş-xassə-ölçü əlaqələri öyrənilmiş, fiziki-kimyəvi qanunauyğunluqları araşdırılmışdır.

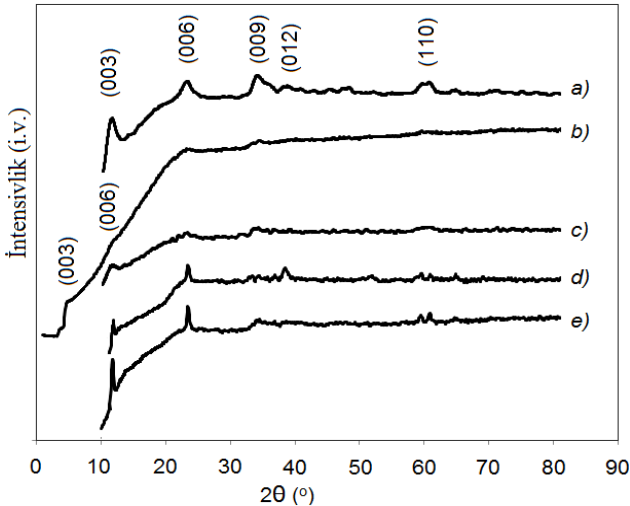
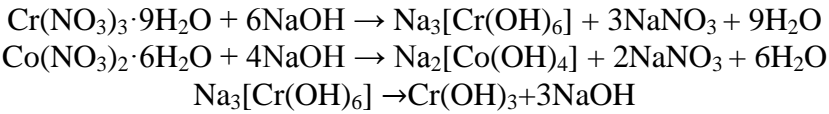
CoCr-LİH, α - və β -Co(OH)₂ və amorf Cr(OH)₃: sintezi, modifikasiyası və tədqiqi. Müxtəlif temperaturalarda, pH-larda və fərqli üsullarla alınmış LİH-lərin Rentgen difraktoqramları **Şəkil 2**-də göstərilmişdir. Hidrotalsitəbənzər kristal quruluşlara uyğun gələn piklər (003), (006), (009), (012) (110) Miller müstəvilərinə düşən $2\theta = 11.86^\circ, 23.1^\circ, 34.13^\circ, 38.76^\circ, 60.34^\circ$ xarakterik difraksiya bucaqlarında (JCPDS faylı 38-0487)³ müşahidə edilmişdir.

Stearin turşusu və natrium stearat ilə qarşılıqlı təsirdən sonra CoCr-LİH-nin bazal məsafəsi müvafiq olaraq 7,366 Å-dən 7,428 Å və 25,214Å-ə qədər artmışdır (**Cədvəl 1**). pH-ın 7 qiymətində LİH ilə bərabər α - və β -Co(OH)₂ də alınmışdır (**Şəkil 2**). Bu, Co²⁺ və Cr³⁺ ionlarının miqdarının bir-birindən kəskin fərqlənməsi, reaksiya mühitində α -, β -Co(OH)₂ və amorf Cr(OH)₃-in əmələ gəlməsinə

³ Dinari, M. Structural, thermal and mechanical properties of polymer nanocomposites based on organosoluble polyimide with naphthyl pendent group and layered double hydroxide / M. Dinari, A.R. Rajabi // High Performance Polymers, - 2017. 29(8), - p. 951–959. DOI.org/10.1177/0954008316665678

səbəb olmuşdur. Co^{2+} ionlarının nisbətən azalması ilə $\beta\text{-Co(OH)}_2$ -ə uyğun gələn piklərin sayı artmışdır. $\text{Co}^{2+}:\text{Cr}^{3+}=1:3$ və $1:5$ olduqda amorf Cr(OH)_3 alınmışdır.

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, $\text{CoCr-LiH}_{10\text{M},90^\circ\text{C}}$ nümunəsində (003) müstəvisinə görə hesablanmış bazal boşluq artmış və $\text{CoCr-LiH}_{20\text{M}90^\circ\text{C}}$ -nümunəsində azalmışdır. Bu, yüksək qatılıqlı əsasi məhlulda quruluş dəyişikliyi ilə izah olunur. Yüksək qatılıqlı əsasi məhlulda sistem dərhal öz stabil vəziyyətinə gələ bilməmiş, 10M və 20M NaOH məhlulu ilə alınan nümunələrdə hissəciklərin orta ölçüsü 0,6M qatılıqlı NaOH ilə daha yüksək olmuşdur. Lakin məhlul 90°C -də qızdırıldıqdan sonra $\text{Na}_3[\text{Cr(OH)}_6]$ parçalanmış və məhlulda NaOH-ın qatılığı daha yüksək olduğu üçün amorf Cr(OH)_3 və CoCr-LiH alınmış, reaksiyanın tənlikləri aşağıdakı kimi verilmişdir:

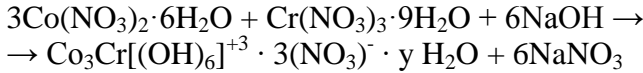


Şəkil 2. a) $\text{CoCr-LiH}_{0,6\text{M},90^\circ\text{C}}$, b) $\text{CoCr-LiH}_{0,6\text{M},90^\circ\text{C}} - \text{NaSt}$, c) $\text{CoCr-LiH}_{0,6\text{M},90^\circ\text{C}-\text{St}}$, d) $\text{CoCr-LiH}_{20\text{M},90^\circ\text{C}}$, e) $\text{CoCr-LiH}_{10\text{M},90^\circ\text{C}}$ nanokompozitlərinin Rentgen difraktoqramları.

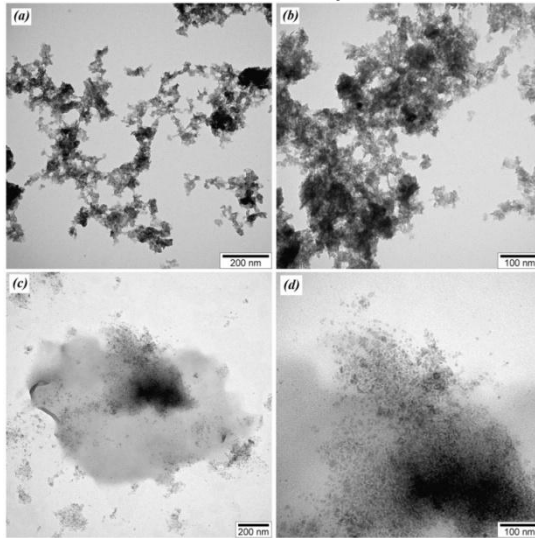
Cədvəl 1. Müxtəlif mühitlərdə sintez olunmuş CoCr-LiH nanohissəciklərin qəfəs parametrləri.

Parametrlər (Å)	CoCr-LiH _{0.6M} (25°C)	CoCr-LiH _{0.6M} (90°C)	CoCr-LiH _{0.6M} (90°C)-ST	CoCr-LiH _{0.6M} (90°C)-NaSt
d ₍₀₀₃₎	7.490	7.459	7.428	25.214
d ₍₀₀₆₎	3.789	3.821	3.813	19.186
d ₍₁₁₀₎	1.551	1.532	1.532	1.540
a=2d ₍₁₁₀₎	3.102	3.064	3.064	3.08
c=3d ₍₀₀₃₎	22.470	22.377	22.284	105.891
D (nm)	37.9	41.7	33.4	27.7

CoCr-LiH-in əmələ gəlməsi aşağıdakı reaksiya ilə göstərilə bilər:



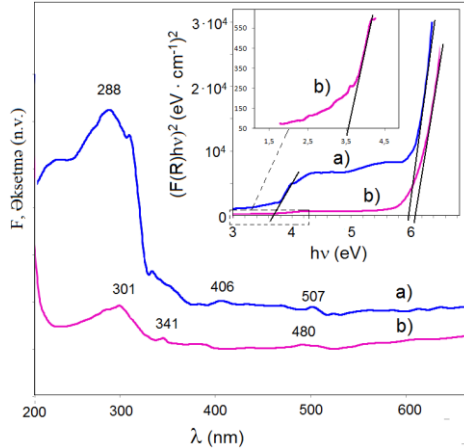
CoCr-LiH_{0.6M,90°C/NaSt} və CoCr-LiH_{0.6M,90°C} nümunələrində səthin morfolojiyası TEM və SEM, element tərkibi isə EDX ilə tədqiq edilmişdir (**Şəkil 3**). SEM analizi ilə hissəciyin orta ölçüsü CoCr-LiH_{0.6M,90°C} və CoCr-LiH_{0.6M,90°C/NaSt} nümunələrində müvafiq olaraq təxminən 100-150 nm və 30-50 nm olmuşdur.



Şəkil 3. İlkin sintez olunmuş (a, b) və interkalyasiya edilmiş (c, d) CoCr-LiH nanohissəciklərinin TEM şəkilləri.

Modifikasiyadan sonra hissəciklərin ölçüsünün azalmasına səbəb layların üzvi qrupların təsirindən genişlənməsi ilə qismən parçalanmanın baş verməsidir. **Şəkil 3**–dən görüldüyü kimi ilkin sintez olunmuş LiH-lər sıx yerləşmiş və dispers paylanma zəif olmuşdur. Hissəciklərin ölçüsünün böyük olduğu da aydın görünür. İnterkalyasiya olunmuş CoCr-LiH-ində isə (**Şəkil 3c,d**) layların azaldığı, dispers paylanmanın artdığı aydın görünür. CoCr-LiH_{0.6M(90°C)/NaSt} birləşməsində vahid səthə düşən elementlərin atom sayı (Co/Cr=4.6/1.7) CoCr-LiH_{0.6M(90°C)} nümunəsi ilə müqayisədə daha az olması (Co/Cr=19.6/6.7) quruluşun genişlənməsi və boşluqların artması ilə əlaqədardır.

UB spektroskopiyaya ilə alınan nəticələr **Şəkil 4**-də verilmişdir. $[F(R_{\infty})hv]^2$ əyrilərinin düzxətli bölgəsinin “x” oxuna (hv) ekstrapolyasiyası ilə iki qadağan olunmuş zonasının eni (E_g (yüksək) və E_g (aşağı)) müəyyən edilmişdir. CoCr-LiH_{0.6M(90°C)} və CoCr-LiH_{0.6M(90°C)-NaSt}-nümunələrinin yüksək enerjili qadağan olunmuş zonasının eni müvafiq olaraq 6.2 və 5.95 eV, aşağı enerjili qadağan olunmuş zonasının eni 3.5 və 3.7 eV olaraq təyin edilmişdir.

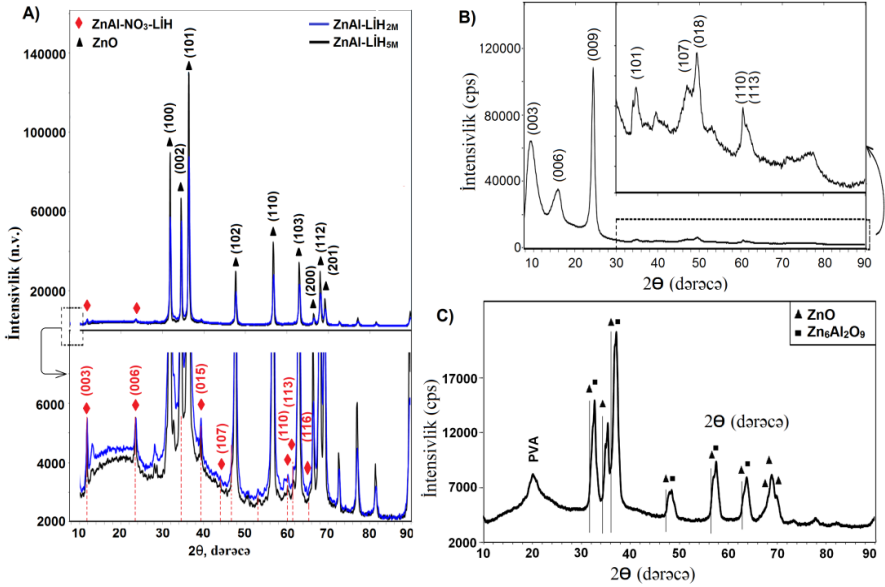


Şəkil 4. UB əksətmə spektrləri və $[F(R_{\infty})hv]^2$ -nin $h\nu$ -dən asılılıq qrafikləri: a) CoCr-LiH_{0.6M(90°C)}, b) CoCr-LiH_{0.6M(90°C)/NaSt}.

Artan bazal boşluqla oksigenin 2p-orbitalından kobalt və xrom ionlarının 4s və ya 3d (Cr) səviyyələrinə elektron keçid eni

azalmışdır ki, bu da LİH təbəqələri arasında fiziki qüvvələrin azalması ilə izah olunur.

ZnAl-əsaslı LİH, oksid və qarışıq oksid nanomateriallarının fiziki-kimyəvi xassələrinin eksperimental parametrlərdən asılı olaraq öyrənilməsi. LİH/polimer nanokompozitlərinin hazırlanması üçün birgə formalaşma üsulu tətbiq edilmişdir. ZnAl-LİH_{2M}, ZnAl-LİH_{5M}, ZnAl-LİH_{karb.(2)} və ZnAl-qarışıq oksid/PVS-in RD nəticələri **Şəkil 5**-də göstərilmişdir. ZnAl-LİH_{5M} və ZnAl-LİH_{2M} üçün $2\theta = 11,91^\circ; 23,69^\circ; 34,5^\circ; 39,4^\circ; 60,5^\circ$ və $62,1^\circ$ bucaqları və (003) (006); (009); (015); (110) və (113) Miller indeksli müstəvilər altıbucaqlı kristal qəfəsə malik hidrotalsit (HT) materialların (JCPDS No.48-1023) xarakterik piklərini təsdiq edir.



Şəkil 5. A) 2 M və 5 M NaOH, B) karbamid, C) 10%-li PVS/su məhlulunda sintez edilmiş ZnAl-LİH və ZnAl-qarışıq oksid/PVS nanokompozitlərinin Rentgen difraktoqramları.

ZnAl LİH_{5M} və ZnAl LİH_{2M} nümunələrinin RD nəticələrində $2\theta = 31,9^\circ; 34,57^\circ; 36,4^\circ; 47,7^\circ; 56,76^\circ; 62,99^\circ; 66,45^\circ; 68,05^\circ; 69,19^\circ$ difraksiya bucaqlarında və (002); (101); (102); (110); (103); (200);

(112) və (201) müstəvilərində (JCPDS No.89-7102) ZnO-ə uyğun kristal fazanın əmələ gəlməsi alüminiumun amfoter təbiəti ilə izah olunur.

UB-Gör. və İQ spektroskopiya metodlarından sından istifadə etməklə nanomaterialların optiki xassələrinin tədqiqi aparılmışdır. ZnAlLiH_{2M}, ZnAlLiH_{5M}, ZnAlLiH_{karb.(2)} və ZnAl-qarışıq oksid/PVS-nanokompozitlərinin İQ spektrlərinə əsasən PVS zəncirində, LiH təbəqələrində və laylararası su molekullarında olan OH qruplarının vibrasiyası bütün nümunələrdə 3415-3290 sm⁻¹ diapazonda geniş zolaqla müşahidə edilmişdir. v₃ gərgin vibrasiyaya malik NO₃⁻ qruplarına uyğun udma zolaqları ~1363 sm⁻¹ dalğa ədədində ZnAl LiH_{2M}, ZnAl LiH_{5M} və ZnAl-LiH_{karb.(2)} nümunələrində müşahidə edilir. 829 sm⁻¹ və 752 sm⁻¹ diapazonu da D_{3h} simmetriyasına malik NO₃-qrupunun mövcudluğu ilə əlaqələndirilmişdir⁴. Polimer zəncir sərbəst hissəciklərin vibrasiyasını artırdığından bu zolaq ZnAl-qarışıq oksid/PVS nanokompozitində daha yüksək dalğa ədədində (831 sm⁻¹) müşahidə edilmişdir. Lakin ZnAl-LiH_{karb.} nanokompozitində laylararası məsafə digər nümunələrdən daha geniş olduğundan (d₍₀₀₃₎ = 9.51 Å) həmin zolaq aşağı dalğa ədədinə (752 sm⁻¹) düşmüş, NO₃⁻ ionlarının hərəkətliliyi su molekulları tərəfindən maneələnmişdir. 489, 509 və 536 sm⁻¹-də intensiv zolaqlar ZnO birləşməsinə aid olan Zn-O-rabitəsini göstərir⁵.

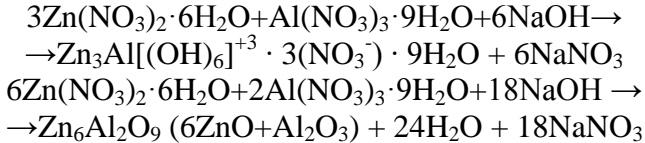
ZnAl-qarışıq oksid/PVS-nanokompozitinin İQ analizi göstərir ki, OH, C-H, C = O, C-O və CH₂ qruplarına uyğun olan xarakterik zolaqlar 3300, 2940, 1731, 1141 və 1420 sm⁻¹ tezliyindən müvafiq olaraq 3302, 2897, 1652, 1139 və 1411 sm⁻¹ tezliyinə doğru sürüşmüşdür. Aşağı tezliyə doğru sürüşmə PVS matrisində ZnAl

⁴ Yang, F. Preparation and wettability of Zn–Al layered double hydroxide film directly grown on highly porous anodic alumina oxide template / F. Yang, B.Y. Xie, J.Z. Sun [et al.] // Materials Letters, - 2008. 62(8–9), - p. 1302–1304. DOI: 10.1016/j.matlet.2007.08.069

⁵ Nagaraju, G. Electrochemical heavy metal detection, photocatalytic, photoluminescence, biodiesel production and antibacterial activities of Ag–ZnO nanomaterial / G. Nagaraju, S.A. Prashanth, M. Shastri [et al.] // Materials Research Bulletin, - 2017. 94, - p. 54–63. DOI.org/10.1016/j.materresbull.2017.05.043

qarışıq oksidli nanohissəciklərin əmələ gəlməsi ilə izah olunur. ZnAl qarışıq oksidli nanohissəciklər bu funksional qrupların iştirakı ilə PVS zəncirinə kimyəvi cəhətdən bağlandığı üçün bu qrupların tezliyi və enerjisi azalmışdır.

EDX analizinə görə (**Şəki 6**) reaksiyada alüminiumun çox az hissəsi iştirak etmiş, ehtimal olunan mexanizm aşağıdakı kimi göstərilmişdir:

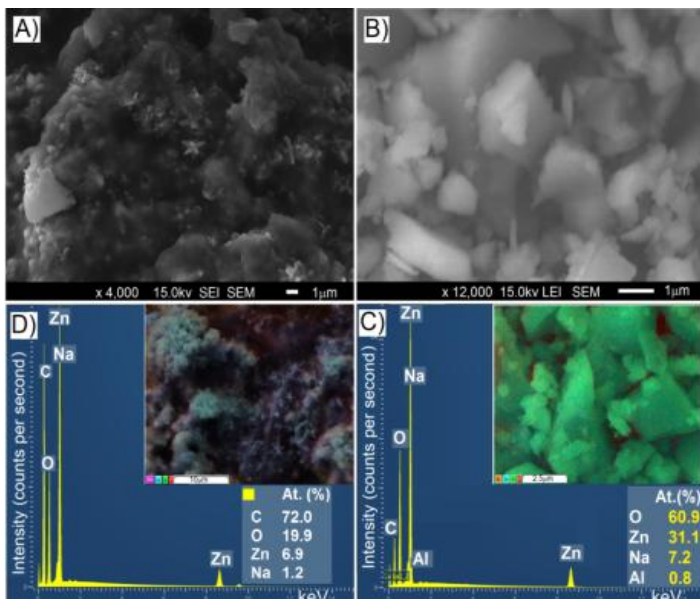


Təcrübədə PVS istifadə etdikdə $\text{Zn}_6\text{Al}_2\text{O}_9$ -in xarakterik pikləri kubik kristal fazaya aid olub (JCPDS No.51-0037) $2\theta = 32,73^\circ$, $36,96(2)^\circ$; $37,26^\circ$; $48,27^\circ$; $57,51^\circ$; $63,77^\circ$; $68,79^\circ$, $70,08^\circ$ və $78,0^\circ$ difraksiya bucaqlarında müşahidə edilmişdir. Nisbətən aşağı qatılıqlı qələvi məhluldan (2M NaOH) istifadə edildikdə, nukleasiya prosesi qızdırılmadan əvvəl getmiş və sistemdə ZnO nanohissəcikləri ilə yanaşı kiçik ölçülü hidrotalsitlər (ZnAl-LiH) əmələ gəlmişdir.

ZnAl-LiH_{2M} nanokristallarının və ZnAl-qarışıq oksid/PVS nanokompozitinin SEM və EDX analizi ilə göstərilmişdir ki, hissəciklər çubuqşəkilli və iynəşəkilli nanokristallardan təşkil olunmuşdur (**Şəki 6**). İynəşəkilli hissəciklərin orta uzunluğu və eni müvafiq olaraq 500-650 nm və 150-200 nm-dir. Nanokompozitin əmələ gəlməsi zamanı PVS sistemdə qeyri-dispers mühit əmələ gətirmiş və NaOH-in reaksiya boyunca yayılması homogen olmamışdır. Təcrübəni polimersiz mühidə apardıqda altıbucaqlı morfologiyaya malik iri hissəciklər əmələ gəlmişdir (**Şəkil 6B**). Hissəciklərin orta ölçüsü 1,5 μ -500 nm olmuşdur. Hər iki material üçün RD analizindən əldə edilən ölçülər SEM ilə alınan ölçülərdən daha kiçikdir. Bu, sərbəst Gibbs enerjisini azaltmaq üçün kiçik kristallitlərin daha böyük hissəciklər əmələ gətirməsi ilə əlaqədardır.

UB analizə görə ZnAlLiH_{2M} və ZnAlLiH_{5M} nümunələri üç fərqli qadağan olunmuş zonanın eninə malik qiymətlər alır ki. Yüksək, orta və aşağı qadağan olunmuş zonanın eni uyğun olaraq E_{g1} , E_{g2} və E_{g3} kimi göstərilmişdir. E_{g1} LiH-in laylararası boşluğundakı NO_3^- anionlarını E_{g2} və E_{g3} isə müvafiq olaraq NO_3^- və Me-O

elektron keçidini göstərir⁶. $ZnAl-LiH_{2M}$, $ZnAl-LiH_{5M}$, $ZnAl-LiH_{karb.(2)}$ və $ZnAl$ -qarışıq oksid/PVS ($ZnO-Al_2O_3$) nümunələrinin E_g -qiymətləri müvafiq olaraq 3,27, 3,17, 3,3 və 3,15 eV olmuşdur. Bu cür aşağı enerjili qadağan olunmuş zonanın eni fotokatalitik cihazlar, qaz sensorları və fotosensorlar üçün tətbiqlərdə perspektivlidir.



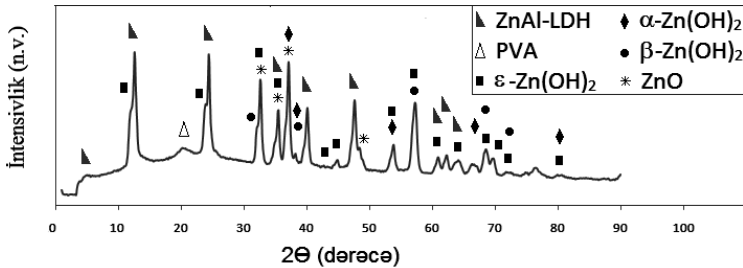
Şəkil 6. PVS-də (A, D) və PVS iştirakı olmadan (B, C) sintez olunmuş $ZnAl-LiH_{2M}$ nanokompozitlərinin SEM şəkilləri (A, B), EDX spektrləri və element tərkibinin xəritələnməsi (D, C).

ZnAl-LiH/PVS nanokompozitlərinin hazırlanması. Sink və aluminium tərkibli LiH-in PVS ilə nanokompozitləri birgə formalaşdırma və məhlulda qarışdırma metodlarını tətbiq etməklə hazırlanmışdır. Doldurucunun ($ZnAl-LiH$) polimerdə (PVS-də) miqdarı 0,05% və 0,1% təşkil etdikdə, nümunələrdə maddə-məhlul

⁶ Ahmed, A. A. A. Zn–Al layered double hydroxide prepared at different molar ratios: Preparation, characterization, optical and dielectric properties / A.A.A. Ahmed, Z.A. Talib, M.Z. Bin Hussein [et al.] // Journal of Solid State Chemistry, - 2012. №191, - p. 271–278. DOI.org/10.1016/j.jssc.2012.03.013

sərhəddi gözlə görünmüş və dispers paylanma tam getməmişdir. Doldurucunun miqdarı 0,3% təşkil etdikdə isə qarışıq ultrasəsdən sonra ağ homogen məhlulə çevrilmişdir. Birgə formalaşma ilə sintez olunmuş ZnAl-LiH/PVS nanokompozitində PVS-in uyğun gəldiyi $2\theta = 19.17^\circ$ difraksiya piki nanokompozitin əmələ gəlməsi ilə yuxarı difraksiya bucağına doğru ($2\theta = 20.00^\circ$) sürüşmüşdür (**Şəkil 7**). Bu hal birgə formalaşma zamanı mühitdə olan PVS-in LiH-lər vasitəsilə tikilməsini göstərir.

Polimerdə LiH-in miqdarı artdıqca geniş qadağan olunmuş zonanın eni bir qədər azalmışdır ($E_{g1}=5.65\text{eV}$) (**Cədvəl 2**). Buna səbəb polimer məhlulun LiH təbəqələrinə nüfuz etməsi və laylararası boşluqdan anionların qismən xaric olmasıdır.



Şəkil 7. ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin Rentgen difraktoqramı.

Cədvəl 2. Alınmış nanokompozit təbəqələrin udulma və refleksiya zolaqları əsasında hesablanmış E_g qiymətləri

ZnAl PVS-də miqdarı	LiH-in	E_g -udulma ilə (eV)			E_g -əksetmə ilə (eV)		
		E_{g1}	E_{g2}	E_{g3}	E_{g1}	E_{g2}	E_{g3}
0.05%		6.22	5.95	1.60	4.50	3.90	2.00
0.1%		6.27	6.00	1.50	3.35	2.50	1.65
0.3%		5.65	4.70	3.65	3.25	2.70	1.70

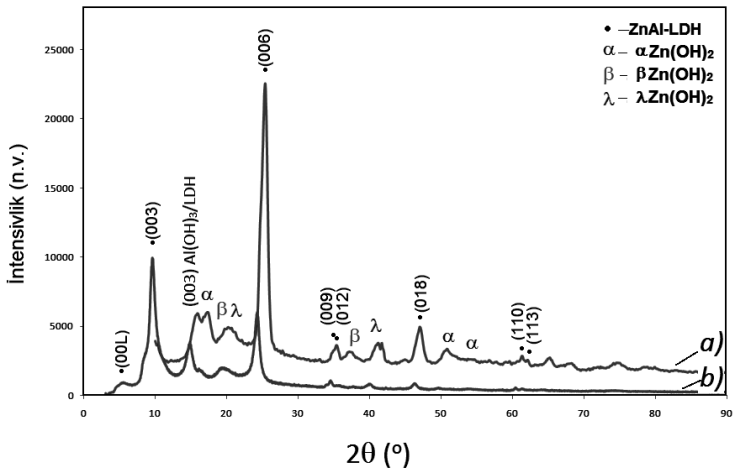
E_{g3} -ün qiyməti doldurucunun 0,05% və 0,1% miqdarları ilə müqayisədə 0,3% miqdarda böyük olmuşdur (3.65eV). Bu qiymət

kvant ölçü effektinə uyğun gəlib, hissəciklərin ultrasəs təsirindən ölçüsünün daha da kiçildiyini göstərir.

LİH-lərin laylarına PVS-in daxil olması ilə interkalyasiya baş vermiş, elektronun keçid enerjisi artmışdır.

IV fəsilə müxtəlif metallarla və füllerenlə aşqarlanmış LİH-lərin xassələri tədqiq edilmiş və alınmış nəticələrin müzakirəsi aparılmışdır.

Füllerenlə aşqarlanmış LİH-lərin xassələrinin tədqiqi və alınmış nəticələrin müzakirəsi. Fülleren (C_{60}) ZnAl-LİH/PVS nanokompozitlərinə qeyri-kovalent aşqarlanmış və alınmış nümunələr boyaq maddələrinin fotodeqradasiyasına tətbiq olunmuşdur. 1% , 10%, 20%, və 60% C_{60} -la aşqarlanmış və təmiz ZnAl-LİH/PVS nanokompozitlərinin Rentgen difraktoqramları **Şəkil 8 –də** verilmişdir. (003); (006); (009); (012) və (110) Miller indeksli müstəvilərə uyğun piklər (JCPDS faylı 38-0487) 1% C_{60} -la aşqarlanmış kompozitdə $2\theta = 9,5; 24,14; 34,32; 39,26; 60$ və 61° , təmiz ZnAl-LİH/PVS nano-kompozitində isə $2\theta = 10,2; 24,63; 35,37; 41,24; 60$ və 61° difraksiya bucaqlarında müşahidə edilmişdir.

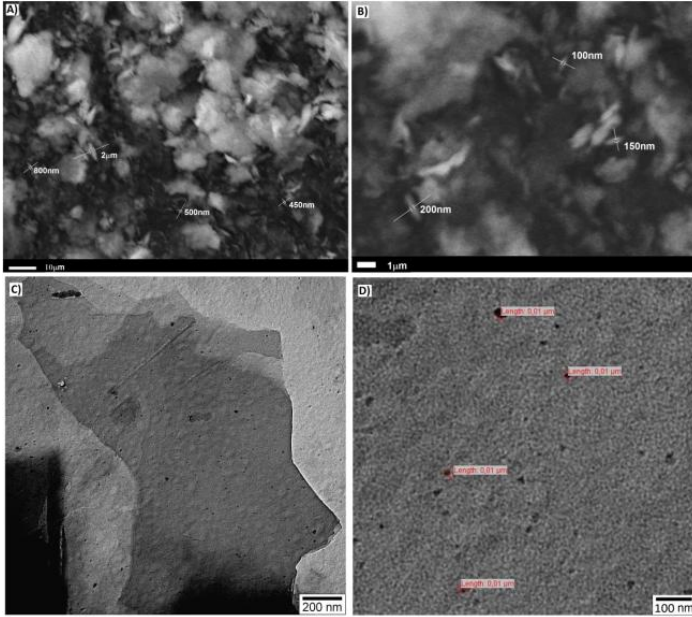


Şəkil 8. Sintez olunmuş (a) və 1% C_{60} -la aşqarlanmış (b) ZnAl-LİH/PVS nanokompozitinin Rentgen difraktoqramları.

Vahid deformasiya modeli (VDM) alınmış kristalların izotrop təbiətli olmasını göstərir. Lakin aşqarlanmış nanoquruluşların kristal

qəfəsində defektlər və təhriflər olduğundan, onlar həmçinin anizotrop təbiətə malikdirlər.

Nümunələrin SEM şəkillərindən görüldüyü kimi eni 150 nm-1000 nm, uzunluğu 0.4 mkm-20 mkm olan düyüşəkilli morfolojiyaya malik hissəciklər formalaşmışdır (Şəkil 9). Lakin TEM nəticələrinə görə nanohissəciklərin səthinin morfolojiyası sferik quruluşa malikdir. LİH nanohissəciklərinin formalaşması polimer matrisində getdiyi üçün polidispers paylanmış hissəciklər birləşərək aqlomeratlar əmələ gətirmişdir.



Şəkil 9. 60% füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin SEM (A, B) və TEM (C, D) təsvirləri.

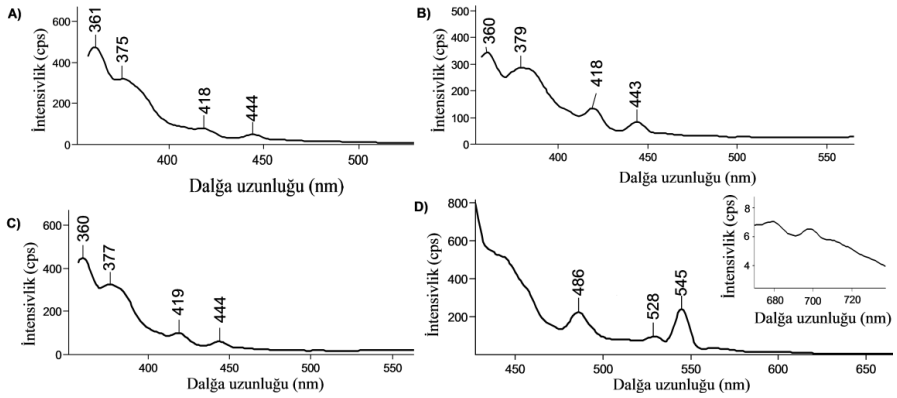
Füllerenlə aşqarlanmış nanokompozitdə udma spektrlərində qırmızı sürüşmə baş vermişdir (Cədvəl 3). C_{60} -in miqdarı artdıqca, qırmızı sürüşmə göy sürüşməyə keçmişdir. Udma spektrlərində qırmızı və göy sürüşmə müvafiq olaraq Urbach enerjisi (E_U) və Burstein-Moss effekti ilə izah edilir. Füllerenin nanokompozitdə miqdarının $0\% < 1\% < 60\% < 20\% < 10\%$ kimi dəyişməsi ilə qadağan olunmuş zonanın eni azalmış, Urbach enerjisi (E_U)

artmışdır. Urbach enerjisinin ən yüksək qiyməti 10% füllerenlə aşqarlanma nəticəsində baş vermiş və bu, kristal qəfəsdə yaranmış defektlərin çoxluğu ilə əlaqədardır (Cədvəl 3).

Cədvəl 3. Füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS-in qadağan olunmuş zonasının eni və Urbach enerjisinin qiymətləri.

Nümunələr	$E_{g(dolayı)} (eV)$	$E_{g(birbaşa)} (eV)$	$E_u(eV)$
ZnAl-LiH/PVS	3.75	2.34	0.1343
1% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	2.85	1.87	0.1623
10% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	2.90	1.56	0.5998
20% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	3.02	1.61	0.2592
60% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	2.80	1.42	0.2296

PVS, Zn-Al LiH/PVS və 1% füllerenlə aşqarlanmış ZnAl LiH/PVS nanokompozitlərinin fotoluminessensiya (FL) spektrləri Şəkil 10-da verilmişdir.



Şəkil 10. 325 nm (A-C) və 400 nm (D) həyəcanlanma enerjisində çəkilmiş PVS (A), Zn-Al LiH/PVS(B) və C₆₀-la aşqarlanmış ZnAl LiH/PVS (C,D) nanokompozitlərinin FL spektrləri.

Nanokompozitin tərkibindəki komponentlərin artması ilə emissiya zolaqlarının intensivliyi artmış, oksigen boşluğu və sinkin aralığı

növləri (Zn interstitial: Zn_i^{++} , Zn_i^+ , Zn_i^*) dərin səviyyəli defektlər əmələ gətirmişdir. Füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin spektrində 545 nm və 700 nm dalğa uzunluqlarında müşahidə edilən zolaqlar füllerenə uyğun gəlir. Bu zolaqlar 302 nm-də həyəcanlanma ilə təmiz C_{60} -in FL spektrlərində 500 və 750 nm-də müşahidə olunmuşdur.

V fəsildə LiH və FNK əsasında alınmış metal sulfid/polimer nanokompozitlərinin xassələri tədqiq edilmiş və nəticələrin müzakirəsi aparılmışdır.

FNK əsasında sintez olunmuş CdS, ZnS və CdZnS₂ nanomateriallərinin fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi.

SILAR metodla 5 və 15 dövrlərdə sintez edilmiş CdS CdS/FNK, Cd_{0.75}Zn_{0.25}S/FNK, Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/FNK, Cd_{0.25}Zn_{0.75}S /FNK və ZnS/FNK nanokompozitlərinin Rentgen difraktoqramları **Şəkil 11**-də verilmişdir. Alınmış nanokompozitlər kubik fazada CdS (JCPDS#65-2887) və ZnS (JCPDS#39-1363)-in xarakterik piklərinə uyğun gəlmiş, (111), (220) və (311) Miller indeksli 3 ədəd intensiv piklə müşahidə olunmuşdur. Nanokristallitlərin orta ölçüsü Şerrer (1) və Wiliamsen-Hall (2) tənlikləri ilə hesablanmışdır ^{7,8}.

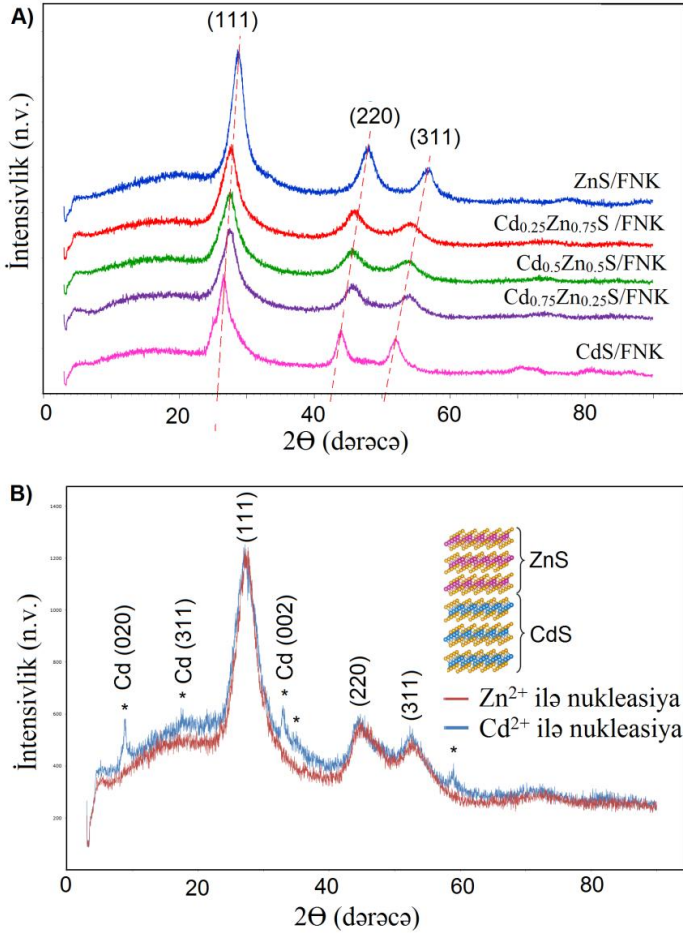
$$D = \frac{K\lambda}{\beta_{hkl}\cos\theta} \quad (1)$$

$$\beta_{hkl}\cos\theta = \frac{K\lambda}{D} + 4\epsilon\sin\theta \quad (2)$$

Üçlü sulfidlərin əmələ gəlməsi difraksiya piklərinin sürüşməsi ilə müşahidə edilmişdir. CdS və ZnS nanohissəciklərinin hesablanmış Young modulları (111), (220) və (311) Miller müstəvilərində müvafiq olaraq 97,84; 78,51; 64,33 m²/N və 95,84; 69,68; 53,42 m²/N-dir. CdS dominant quruluş kimi qəbul edildiyindən CdZnS₂ üçlü sulfid nanohissəciklərinin həndəsi parametrləri kubik CdS-nin Yunq modulundan istifadə edilərək hesablanmışdır.

⁷ Scherrer, P., Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 1918 (1918) 98–100

⁸ Mote, V., Purushotham, Y. & Dole, B. Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles // J Theor Appl Phys 6, 6 (2012). <https://doi.org/10.1186/2251-7235-6-6>

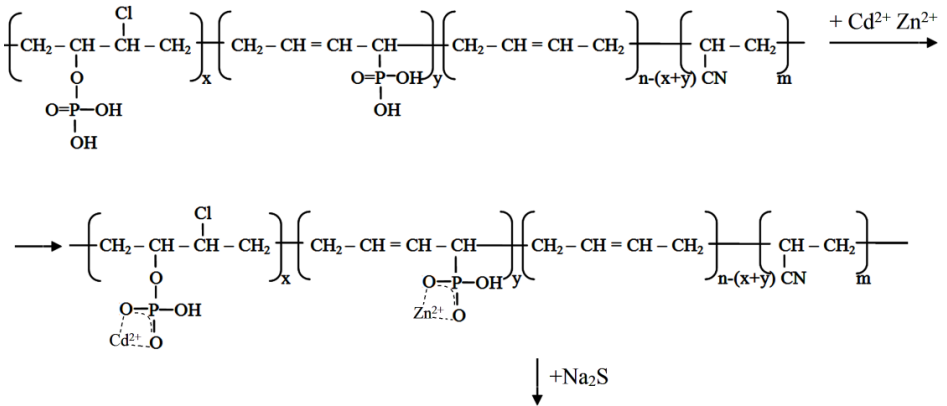


Şəkil 11. A) Qarışıq məhluldan və B) Növbəli sintezdən 15 dövrdə alınmış CdZnS₂ nanohissəciklərinin Rentgen difraktoqramları.

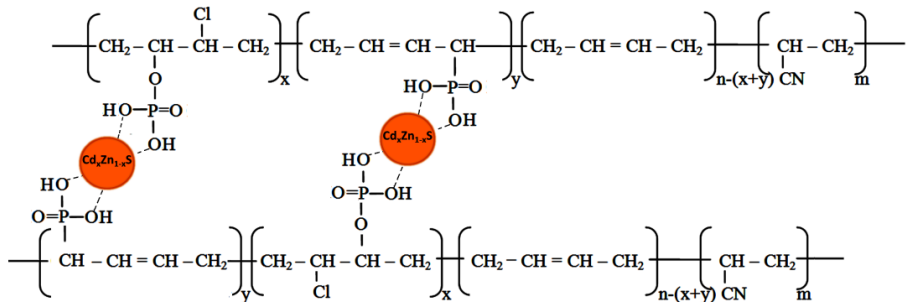
Nanohissəciklərin formalaşma mexanizmi İQ spektroskopiyaya ilə izah edilmişdir. FNK və aktivləşdirilmiş kömür (müqayisə üçün) matrisində sintez olunmuş nanohissəciklərin İQ spektrləri Şəkil 12-də verilmişdir. -OH (3429 sm⁻¹), C-H (2918 sm⁻¹), P-O-H (2864 sm⁻¹), OPO(OH)₂ (2000-2200 sm⁻¹) və rezonans vəziyyətin xarakterik P = O (1552 sm⁻¹) zolaqları FNK-ya uyğundur. CdS, ZnS, Cd_{0.5}Zn_{0.5}S,

$Cd_{0.75}Zn_{0.25}S$ və $Cd_{0.25}Zn_{0.75}S$ nanohissəciklərinin əmələ gəlməsi ilə PO_3^{2-} (977 sm^{-1}) qrupuna uyğun zolaq müvafiq olaraq 969 sm^{-1} , 975 sm^{-1} , 972 sm^{-1} , 973 sm^{-1} və 972 sm^{-1} tezliklərinə doğru sürüşmüşdür. İQ spektrdə qırmızı sürüşmə göstərir ki, funksional qruplara koordinasiya etmiş nanohissəciklər polimer zəncirinin hərəkətini zəiflətməmişdir. Nanoölçülü sulfidlərin FNK-nın funksional qruplarında sintezinin mümkün mexanizmi aşağıdakı kimi göstərilmişdir:

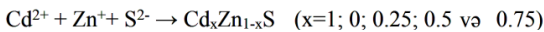
Kationların adsorbsiyası:

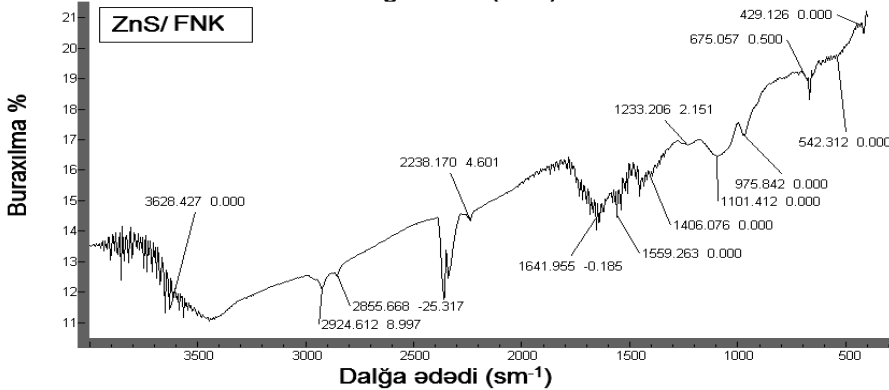
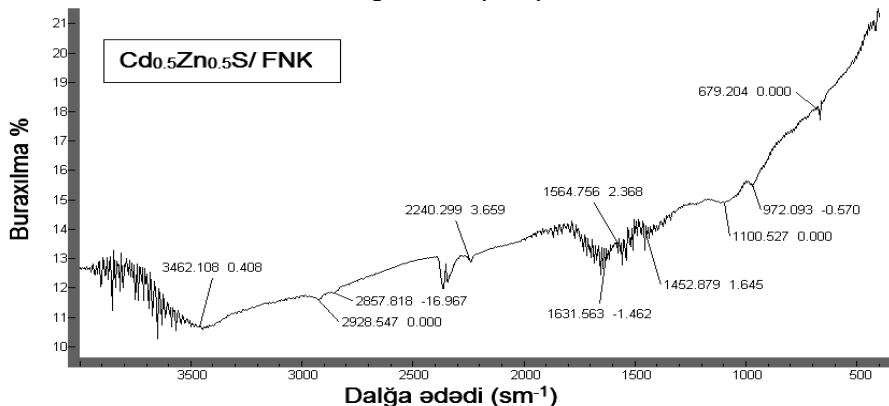
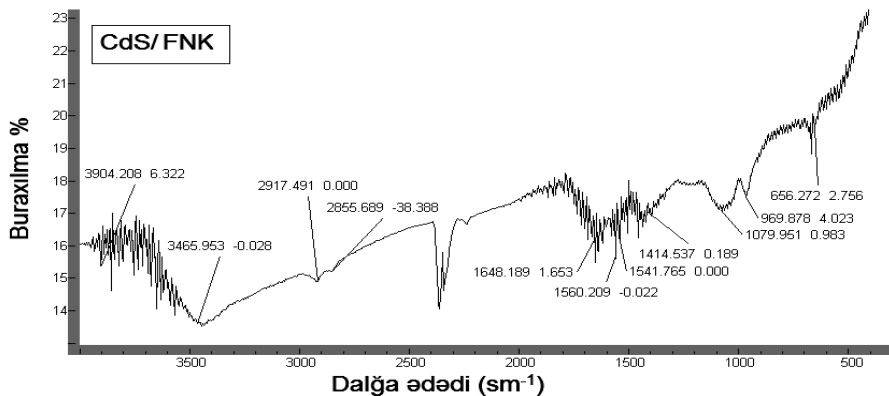


Adsorbsiya olunmuş kationların sulfidləşməsi:



Kadmium-sink sulfid nanokristallarının alınmasının ümumi tənliyi:

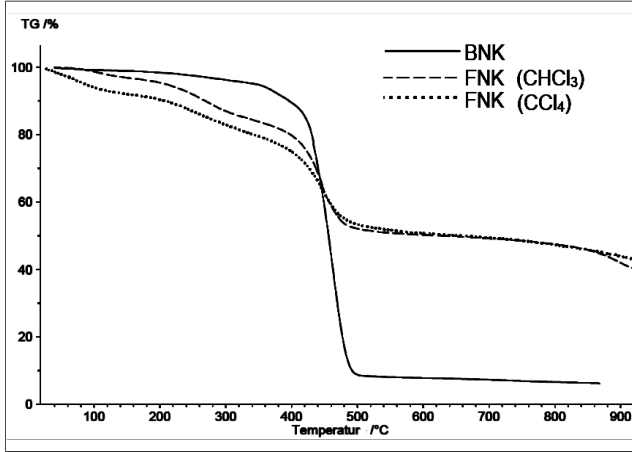




Şəkil 12. Cd_xZn_{1-x}S/FNK və Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/AK nanokompozitlərinin İQ spektrləri

Xam polimer (BNK), modifikasiya olunmuş polimer (FNK) və tərkibində metal ionları (Cd²⁺ və Zn²⁺) olan FNK-nın termiki

xassələri 20-900°C temperaturda 10°C/dəq qızdırma sürətində öyrənilmiş, TQ və DTQ əyriləri əldə edilmişdir (**Şəkil 13**).

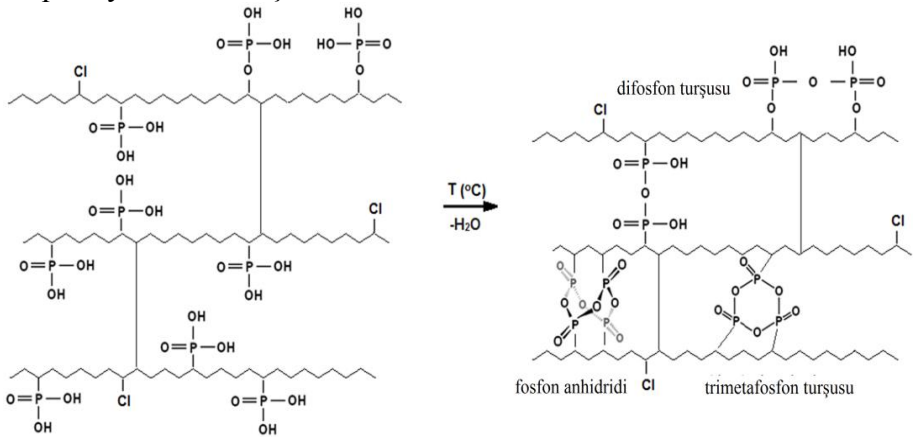


Şəkil 13. BNK və FNK-nın termoqravimetrik əyriləri.

İlkin polimerin (BNK-nın) analizinə görə birmərhələli parçalanma baş vermiş, 350-400°C-də ümumi kütləsinin 89%-ni, 600°C-də 92,8%-ni itirmişdir. Tərkibində metal ionları (Cd²⁺ və Zn²⁺) olan FNK isə üçmərhələli parçalanmaya məruz qalmışdır. İlkin kütlə itkisi sorbsiya olunmuş suyun buxarlanması ilə əlaqədardır. Temiki analizin ikinci mərhələsindəki kütlə itkisi fosfon turşusunun kondensləşməsini, üçüncü mərhələ isə polimer zəncirin parçalanmasını göstərir (**Sxem 1**). Polimer kompozit əhəmiyyətli dərəcədə termiki davamlılıq nümayiş etdirmiş və onun nanohissəciklərin formalaşmasında stabilizasiya kimi tətbiqi əlverişlidir.

Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/FNK-nın səthinin morfologiyası SEM və TEM ilə tədqiq edilmişdir. Hissəciklərin orta ölçüsü SEM ilə ~25-50 nm, TEM ilə ~10-20 nm təşkil edir. Cd, Zn və S elementlərinin atom nisbətləri Cd_{0.75}Zn_{0.25}S, Cd_{0.5}Zn_{0.5}S və Cd_{0.25}Zn_{0.75}S üçlü sulfiddə müvafiq olaraq 1.09/1/1.9; 1.3/1/2.13 və 1/1/1.77 olmuşdur. CdS-in həllolma hasili ($K_{sp} = 8,0 \times 10^{-27}$) ZnS-dən ($K_{sp} = 1,6 \times 10^{-12}$) kiçik

olduğundan, EDX analizinə əsasən üçlü sulfidlərdə kadmiumun miqdarı yüksək olmuşdur.

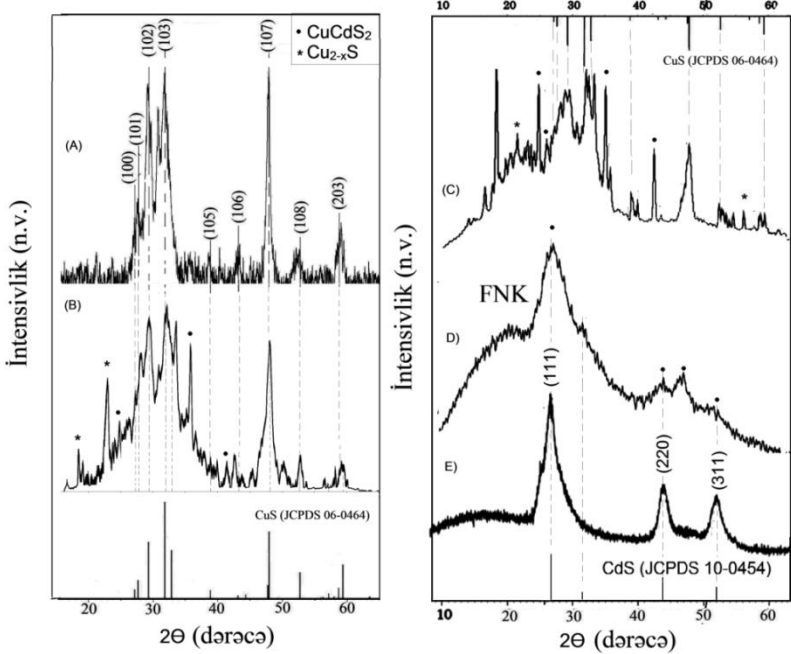


Sxem 1. Fosfon qrupların kondensləşməsi ilə gedən temiki analizin ehtimal olunan mexanizmi.

FNK əsasında sintez olunmuş CuS, CdS və Cu_{0.5}Cd_{0.5}S nanomateriallarının fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi. İşdə SILAR metodla sintez olunmuş mis kadmium sulfid / polimer nanokom-pozitlərinin termiki emalı aparılmış, yaranan yeni fazalar ölçü-quruluş-xassə faktoru ilə əlaqələndirilmişdir.

Şəkil 14-də müxtəlif SİLAR dövrlərində və reaksiya müddətlərində sintez olunmuş Cu_xCd_{1-x}S/FNK nanokompozitlərinin Rentgen difrak-toqramları göstərilmişdir. Cu_xCd_{1-x}S birləşməsində "x" = 1 və 0 olduqda yaxşı kristallaşma müşahidə edilmiş, təmiz ikili sulfidlər əmələ gəlmişdir. 2θ = 20° difraksiya bucağında müşahidə edilən aşağı intensivlikli pik FNK –ya uyğundur. Cu_xCd_{1-x}S birləşməsində x = 0.5 kimi götürüldükdə SILAR metodun aşağı dövrlərində kubik CdS-ə uyğun gələn güclü difraksiya pikləri (JCPDS 10-0454) üstünlük təşkil edir, lakin (107) Miller indeksli müstəvidə 2θ = 48.03°-də CuS-ə uyğun yalnız bir pik (JCPDS 06-0464) müşahidə olunur. 3 dövrdə CdS-ə uyğun, 15 dövrdə CuS-ə uyğun piklər üstünlük təşkil edərək müvafiq dövrlərdə ikili sulfidlərin kristal qəfəsi dominant olmuşdur. Bu hal ifrat doyma və kimyəvi potensialın təsiri ilə izah edilmişdir. Yüksək səviyyəli ifrat

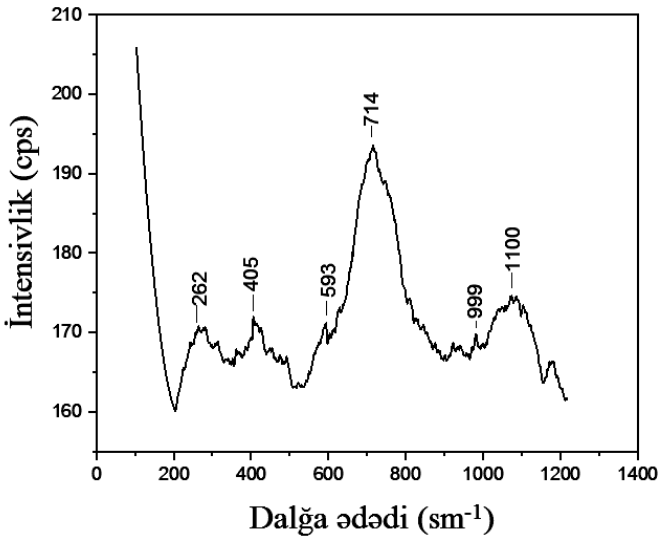
doymada nukleasiya sürəti kristalın böyümə sürətindən daha böyükdür. Burada, ifrat doymada nukleasiya mərkəzlərinin artması üstünlük təşkil etmiş və daha kiçik kristallitlərin alınması ilə nəticələnmişdir.



Şəkil 14. FNK əsasında sintez olunmuş (A) CuS (15 dövr), (B) Cu_{0.5}Cd_{0.5}S (15 dövr), (C) Cu_{0.5}Cd_{0.5}S (t = 30 dəq, 15 dövr), (D) Cu_{0.5}Cd_{0.5}S (t = 30 dəq, 5 dövr) və (E) CdS (t = 24saat, 15 dövr) nanokompozitlərinin Rentgen difraktoqramları.

Şəkil 15-də göstərilən Cu_{0.5}Cd_{0.5}S/FNK nanokompozitinin Raman spektri Rentgen difraktoqramlarından alınan nəticələrin şərhinə uyğun olaraq tam əks etdirir. Cu_{0.5}Cd_{0.5}S/FNK nanokompozitinin optiki Raman spektri 262, 405, 593, 714, 999 və 1100 sm⁻¹ dalğa ədədlərində altı dəqiq piklə müşahidə olunur. 262, 405, və 714 sm⁻¹ dalğa ədədinə düşən intensiv piklər uyğun olaraq fundamental fonon rejminə (1LO), Cu_{0.5}Cd_{0.5}S –in birinci (2LO) və ikinci (3LO)

ifrattonuna uyğundur. Bu hal qırmızı sürüşmə ilə mis sulfidin Raman spektrinin pikləri ilə oxşardır (Cədvəl 4).



Şəkil 15. $\text{Cu}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{S}/\text{FNK}$ nanokompozitinin Raman spektri

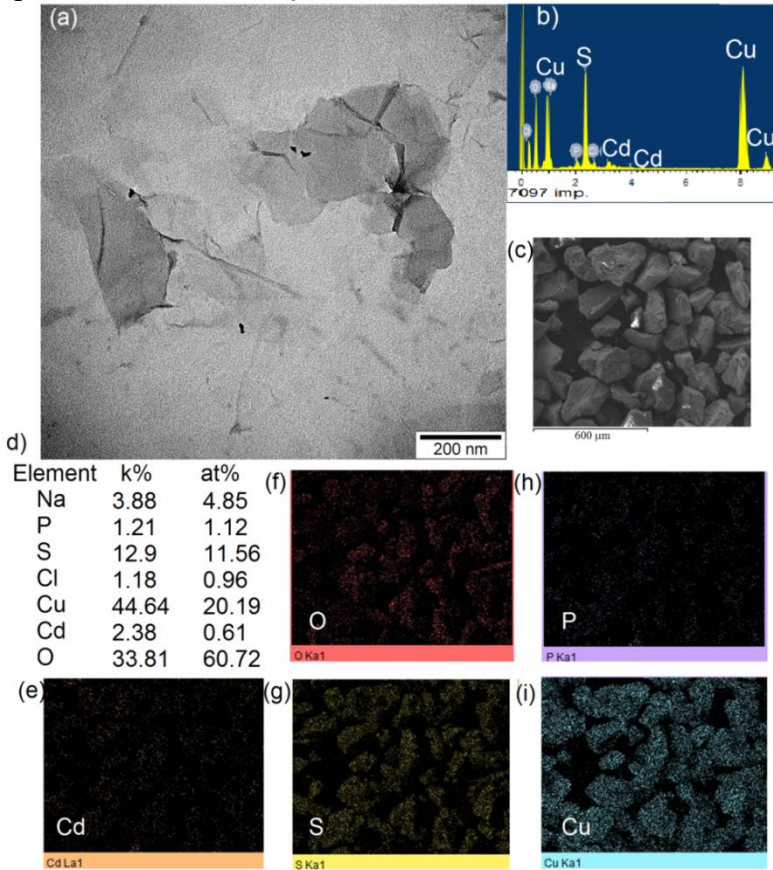
Cədvəl 4. 15 dövrdə sintez olunmuş $\text{Cu}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{S}/\text{FNK}$ –nın Rentgen difraktoqramlarına və Raman spektrometrinin nəticələrinə görə piklərin qiymətləndirilməsi.

$\text{Cu}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$	D (nm)	1LO	2LO	3LO	Ədəbiyyat
x = 0.5	7.39	262	405	714	İşdə
x = 1	9.09	265	474	-	⁹
x = 0	3.2	300	600	900	¹⁰

⁹ Chaki, S. H.; Taylor, J. P.; Deshpande, M. P. Covellite CuS - Single Crystal Growth by Chemical Vapour Transport (CVT) Technique and Characterization // Mater. Sci. Semicond. Process., 2014, 27 (1), 577–585.

¹⁰ Kumar, P.; Saxena, N.; Chandra, R.; Gua, V.; Agarwal, A.; Kanjilal, D. Nanotwinning and Structural Phase Transition in CdS Quantum Dots // Nanoscale Res. Lett., 2012, 7, 1–7. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-584>.

Cu_{0.5}Cd_{0.5}S/FNK nanokompozitinin SEM, TEM və EDS ilə tədqiqi Şəkil 16-də verilmişdir.

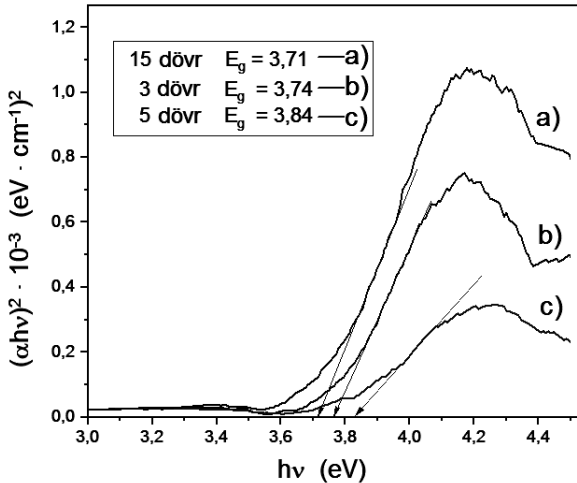


Şəkil 16. CuCdS₂/FNK nanokompozitlərinin TEM (a), SEM (b, c) və EDX nəticələri (e-j).

Nanohissəciklərin TEM ilə orta ölçüsü 20-30 nm-dir. Cu²⁺ və Cd²⁺ ionlarının məhlulda ilkin qatılıqları 1:1 molyar nisbətində götürülsə də EDX analizinə görə üçlü sulfiddə atom faizi böyük fərqlə müvafiq olaraq 20,19% və 0,61% olmuşdur. Bu hal Rentgen difraksiya nəticələri ilə uyğunluq təşkil edir. Məlumdur ki,

nukleasiyanın getməsi və sulfidləşmə sürəti hər bir maddə üçün fərqlidir. İlk kristalların əmələ gəlməsi və yüksək ifratdoyma nukleasiyanın getməsi və birgə çökmə sürətinin düzgün təmin edilməsi üçün əhəmiyyətlidir. Cu^+ , Cu^{2+} və Cd^{2+} sulfidlərinin həllolma hasilı 25°C -də müvafiq olaraq $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-48}$, 1.69×10^{-36} və 8.0×10^{-27} təşkil edir. Multikomponentlər üçün aktivliyə əsaslanan ifrat doyma əmsalı və kimyəvi potensiallar fərqi ($\Delta\mu$) həllolma hasilinin (K_{sp}) artması ilə artır. Bu hal kristalın böyüməsinə üstün gələn nukleasiya sürətinin artdığı yüksək səviyyəli ifrat doymaya gətirib çıxarır. CuCdS_2 kristal qəfəsində həm Cd, həm də Cu atomları olduğundan onun qadağan olunmuş zonasının eni CuS və CdS-dən fərqlənir. CuCdS_2 -nin həcmli quruluşlarında tərkibində Cu və Cd miqdarından asılı olaraq qadağan olunmuş zonanın eni 1.42-2.36 eV tərtibində dəyişir.

$\text{CuCdS}_2/\text{FNK}$ üçün əldə edilmiş qadağan olunmuş zonanın eni (~ 3.7 eV) nanohissəciklərin formalaşmasının FNK-nın məhdud həcmində getməsi ilə izah olunur (**Şəkil 17**).

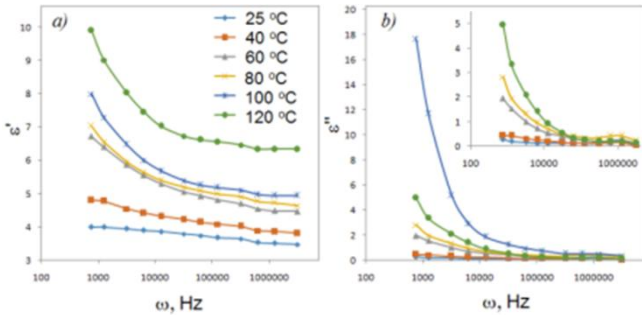


Şəkil 17. 3 (a), 5 (b) və 15 (c) dövrdə alınmış $\text{Cu}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{S}/\text{FNK}$ -nin Tauc əyriləri: A) Birbaşa keçid; B) Dolaylı keçid.

Həcmli CuCdS_2 qadağan olunmuş zonanın eni 2,4 eV olub p tip yarımqeçiricidir. Cd və Cu metallarının binar sulfidlərinin işığa həssas olduğunu və foto-elektriklər, sensorlar, termiki agentlər kimi

bir çox sahələrə tətbiq edildiyini bilərək, onların həmçinin fotokatalizdə tətbiqi də qaçılmazdır.

CuCdS₂/FNK nanokompozitinin dielektrik xassələri E7-20" (MNIPI) (Belarus) cihazında 25, 40, 60, 80, 100 və 120°C-də 10²-10⁶ Hz tezliklərində dəyişən elektrik sahəsində tədqiq edilmişdir. Əvvəlcə CuCdS₂/FNK nanokompoziti incə üyüdülmüş və polivinil spirtinin sulu məhlulu (5%) ilə qarışdırılmış, nazik təbəqə halına salınmış və qurudulmuşdur. Alınan təbəqənin hər iki tərəfinə mis lövhələr qoyularaq ölçmələr metal elektrodlar arasında aparılmışdır. Fazalararası, dipol-dipol və ion qarşılıqlı təsirləri qiymətləndirmək üçün aşağı, orta və yüksək tezliklərdə, müxtəlif temperaturlarda dielektrik parametrlərinin (dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik itkisi (ϵ'' və $\text{tg}\delta$), keçiricilik (σ), dielektrik modulu (M' və M'') və s. dəyişməsi və qanunauyğunluqları öyrənilmişdir. CuCdS₂/FNK nanokompozitinin dielektrik sabiti (**Şəkil 18a**) otaq temperaturunda CuS/FNK-nın dielektrik sabitindən aşağıdır. Həmçinin CuCdS₂/FNK nanokompozitinin dielektrik sabiti (ϵ') temperaturun artması ilə intensiv artmışdır ki, bu halda nanohissəciklər polimer matrisdə dağılmış və bütün temperaturlarda fazalararası qarşılıqlı təsir intensiv olmuşdur.

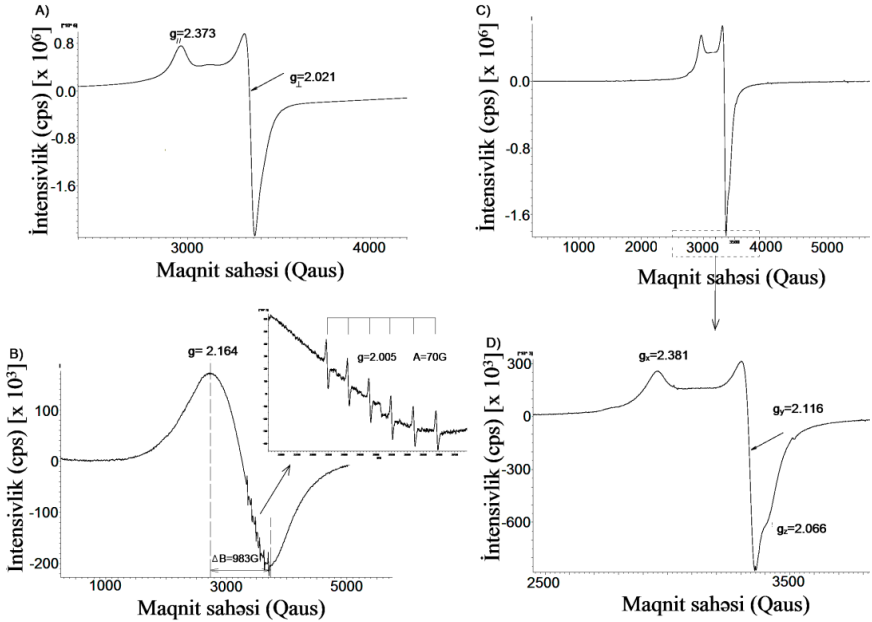


Şəkil 18. CuCdS₂/FNK-nın dielektrik sabitinin (a) və dielektrik itkisinin (b) tezlikdən asılılığı.

CuS/FNK nanokompozitinin otaq temperaturunda ölçülən dielektrik itkisi (ϵ'') CuCdS₂/FNK-ya nisbətən daha yüksəkdir. ϵ'' -in yüksək qiymət alması, dielektrik materialının daha az enerji sərfiyyatı ilə işləmək potensialını artırır. CuS/FNK-nın otaq

temperaturunda, $\text{CuCdS}_2/\text{FNK}$ -nın isə müxtəlif temperaturalarda Cole-Cole ayrılması göstərir ki, CuS/FNK nümunəsi tərkibində yalnız ikili sulfid olduğu üçün dəqiq Cole-Cole qövsü müşahidə edilmişdir.

CuS/FNK , CdS/FNK və $\text{Cu}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{S}/\text{FNK}$ nanokompozitlərinin EPR spektrləri otaq temperaturunda çəkilmiş və Şəkil 19-də verilmişdir. CuS/FNK nanokompozitinin EPR spektrləri Cu^{2+} ionlarına uyğundur və EPR mərkəzi oaksial simmetriyaya malikdir ($g_x = g_y < g_z$). EPR spektrinin intensivliyi $\text{Cu}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{S}$ -də 1.8×10^6 , CdS -də isə 2.5×10^4 -ə bərabərdir. CdS -in EPR spektrinin intensivliyinin CuCdS_2 -dən 72 dəfə kiçik olması g_3 -ün kadmiuma yox, misə aid olduğunu göstərir və simmetriya mərkəzi ortorombikdir.



Şəkil 19. CuS/FNK , CdS/FNK və $\text{CuCdS}_2/\text{FNK}$ nanokompozitlərinin EPR spektrləri.

$\text{CuCdS}_2/\text{FNK}$ nanokompoziti 150, 250, 350, 450, 550 və 700°C-də havada, oksigen iştirakında qızdırılmış, üçlü sulfidin kristal faza çevrilmələri və oksidləşməsi öyrənilmişdir. Bu birləşməni təşkil edən

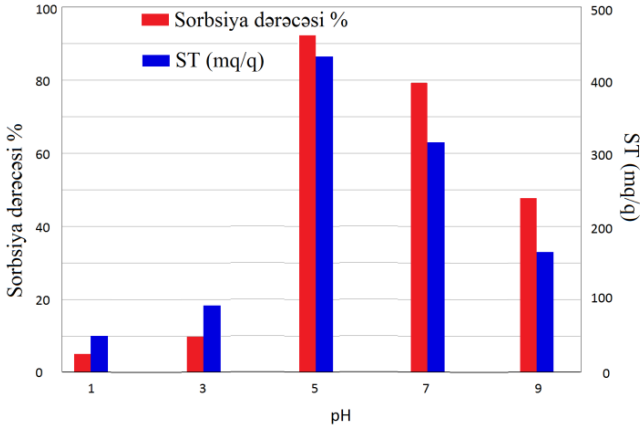
metalların binar sulfidlərindən CuS havada termiki tablama ilə tamamilə CuO-ə keçsə də CdS tam CdO-ə çevrilmir, sulfatlar əmələ gətirir. CuCdS₂/FNK 700°C-də qızdırıldıqda alınan piklər CuO-ə çox uyğun gəlir, lakin bütün piklər bir qədər aşağı difraksiya bucağında müşahidə olunmuşdur. CuO-ə aid 35.74°, 38.95°, 49.2°, 53.88°, 58.76°, 61.79°, 66.22°, 68.42°, 72.67°, 75.37°, 83.21°-də difraksiya pikləri CuCdS₂/FNK nanokompozitini 700°C-də qızdırdıqda 35.07°, 38.22°, 48.31°, 53.05°, 57.84°, 61.11°, 65.37°, 67.68°, 72.02°, 74.86°, 82.78° bucaqlarında müşahidə olunmuşdur. Temperaturun təsirindən kristal qəfəsə oksigenin daxil olması ilə oksidləşmədən öncə qəfəs parametrlərinin (adətən c parametrinin) dəyişməsi baş vermişdir.

CdZnAl LiH/PVS əsasında alınmış CdZnS/CdZnAl-LiH/PVS nanokompozitlərinin xassələrinin tədqiqi və təhlili. İşdə həm ion, həm də elektron keçiriciliyi özündə birləşdirən CdZnS-lə modifikasiya olunmuş CdZnAl-LiH/PVS nanokompoziti sintez olunmuş və çox zərərli üzvi çirkləndirici olan m-krezolun sudan fotodeqradasiyasına tətbiq olunmuşdur. Alınmış LiH-lərin otaq temperaturunda və 40°C-də üçlü sulfidlərə birbaşa sulfidləşməsi ilə LiH-lərə uyğun piklərin intensivliyi azalmış, kadmium və sinkin sulfidlərinə uyğun yeni piklər əmələ gəlmişdir. CdZnAl-LiH/PVS, CdZnS/CdZnAl-LiH/PVS (25°C və 40°C) nanokompozitlərində kristallitlərin orta ölçüsü müvafiq olaraq 14.25 nm, 19.05 nm və 16.5 nm-dir. CdZnS-LiH/PVS nanokompozitlərinin UB-Gör ilə udulma spektrlərində sulfidləşmədən sonra qırmızı sürüşmə müşahidə edilmişdir. CdZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin qadağan olunmuş zonanın eni 25°C və 40°C-də sulfidləşmənin getməsi ilə müvafiq olaraq 2,75 eV-dan 2,6 eV və 2,55 eV-a qədər azalmışdır.

VI fəsildə alınmış nanokompozitlərin sorbsiyaya tətbiqi və qanunauyğunluqlarının müzakirəsi verilmişdir.

ZnAl qarışıq oksidi (ZnO-Al₂O₃)/PVS nanokompoziti ilə Pb²⁺ ionlarının sulu məhlullardan sorbsiyası. ZnAl qarışıq oksid/PVS-də Pb²⁺ ionlarının sorbsiya qabiliyyəti pH-ın qiymətini 3,0-dan 5,0-ə yüksəltməklə artmış, daha sonra azalmışdır (**Şəkil 20**). pH-ın müxtəlif qiymətlərində metal (Me) ionları məhlulda $Me^{2+} \rightleftharpoons Me(OH)^+ \rightleftharpoons Me(OH)_2 \rightleftharpoons Me(OH)_3$ formalarda ola bilər. ZnAl qarışıq

oksidi /PVS üzərində Pb^{2+} -nin udulması üçün optimal pH =5 olmuşdur.

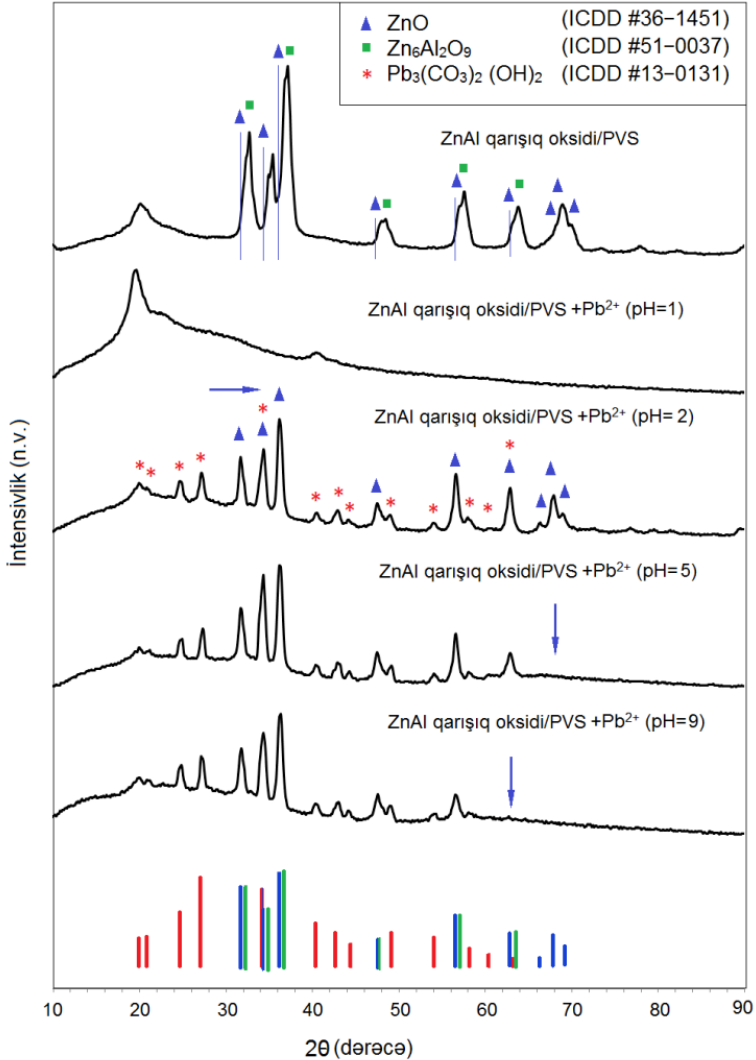


Şəkil 20 ZnAl qarışıq oksidi/PVS (T = 25°C, t = 180 dəq) üzərində Pb^{2+} -ionlarının sorbsiyasına pH-ın təsiri.

Pb^{2+} ionlarının sorbsiyası ilə ZnO-Al₂O₃/PVS-in kristal quruluşunda baş verən kristal faza keçidləri **Şəkil 21**-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi ICDD #36–1451 və ICDD #51–0037 standartına uyğun olan ZnO və Zn₆Al₂O₉ fazalarında kristallaşma getmişdir. Pb^{2+} ionlarını sorbsiya edən ZnAl qarışıq oksidi/PVS materialında Zn₆Al₂O₉-a məxsus difraksiya pikləri pH-ın təsirindən yox olmuş və yeni Pb₃(CO₃)₂(OH)₂ (ICDD: 00-013-0131) tərkibli birləşmə əmələ gəlmişdir. pH –ın qiymətini artırmaqla kimyəvi sorbsiya üstünlük təşkil etmiş, izomorf əvəzetmə artmışdır. Pb^{2+} ionları pH 3-dən 10-a qədər olan məhlulda uyğun olaraq aqua-, hidroksil- və ammonium-[Me(NH₃)²⁺] komplekslərinin əmələ gəlməsində iştirak etmiş, məhlulda müxtəlif pH-larda bu komplekslərin miqdarı fərqli olmuşdur¹¹. Tədqiq olunan pH-larda

¹¹ Alosmanov, R.M. Sorption of some heavy metals ions by phosphorus-containing polymer sorbent in dependence from medium acidity / A.A. Azizov, A.M. Maharramov, I.A.Bunyard-Zadeh // Journal of International Environmental Application and Science., 2011, v.6, No.3, - p. 448–451

qurğuşuna aid əsas növ ionlar Pb^{2+} , $PbOH^+$, $Pb_4(OH)_4^{4+}$ və $Pb_3(OH)_4^{2+}$ -dir.



Şəkil 21. Pb^{2+} ionlarının müxtəlif pH-larda sorbsiya etmiş ZnAl qarışıq oksid/PVS nanokompozitinin Rentgen difraktoqramları.

ZnAl qarışıq oksid/PVS nanokompozitində pH-ın qiyməti artdıqca qadağan olunmuş zonanın eni azalmışdır. Sorbsiya dəyişkən komplekslərin ($PbZnAl$ -qarışıq oksid, $PbOH^+$, $Pb_4(OH)_4^{4+}$,

$Pb_3(OH)_4^{2+}$, $[Pb(NH_3)_2^{2+}]$ və $Pb_3(CO_3)_2(OH)$ əmələ gəlməsi ilə getdiyindən Pb daha böyük ion radiusu ilə kristala daxil olmuşdur.

Sorbentin miqdarının artması ilə sorbsiya dərəcəsi (%) artmış, optimal miqdarı 5 q/l seçilmişdir. Sorbsiyanın mexanizmi Freundlich izoterm modelinə uyğun izah edilmişdir (Cədvəl 5):

Cədvəl 5. 298K temperaturda ZnAl qarışıq oksid/PVS nanokom-pozitində Pb^{2+} -ionlarının sorbsiyası üçün izoterm parametrləri.

Langmuir			Freundlich			D-R			
ST_{mak} mq/q	K_L , l/mq	R^2	n	K_F	R^2	β	ST_{tar} , mq/q	E, kJ/ mol	R^2
1000	$6.13 \cdot 10^{-3}$	0.91	1.3	5.64	0.96	0.54	159.9	0.96	0.7

Təcrübəni neytral pH-da apardıqda fiziki sorbsiya baş vermiş, aktivləşmə enerjisi $E = 0,964$ kC/mol olmuşdur. Pb^{2+} ionlarının ZnAl qarışıq oksidi/PVS nanokompozitində sorbsiyası psevdo-ikinci dərəcəli kinetik modelə uyğun gəlmiş və düzəliş əmsalı (R^2) yüksək olmuşdur (Cədvəl 6).

Cədvəl 6. ZnAl qarışıq oksidi/PVS nanokompoziti ilə Pb^{2+} -ionları-nın müxtəlif temperaturalarda sorbsiyasının kinetik parametrləri.

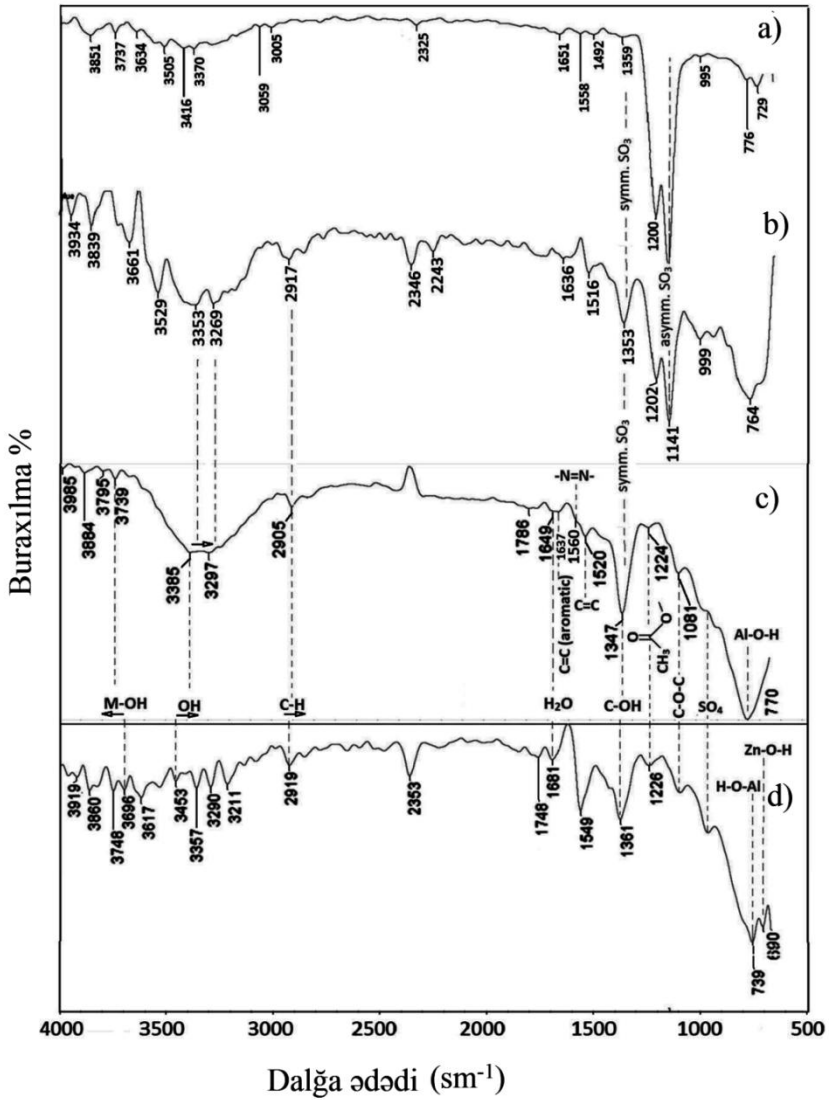
T, K	Psevdo-birinci-dərəcə			
	k_1	$q_{e, hes.}$	$q_{e, təc.}$	r^2
298	0.049	19.3	245.3	0.884
313	0.008	911	1599	0.859
333	0.024	1.63	161.2	0.919
Psevdo-ikinci-dərəcə				
298	k_2	$q_{e, hes.}$	$q_{e, təc.}$	R^2
313	0.00048	250	245	0.993
333	0.000031	1562	1599	0.950
Weber və Morris				
298	k_{WM}	C	R^2	k_{WM}
313	-4.544	270.8	0.740	-4.544
333	70.54	581.6	0.785	70.54

ZnAl-LiH / PVS nanokompoziti ilə Tartrazin, P4R və PA-V sintetik qida boyalarının sulu məhlullardan sorbsiyası. ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin Rentgen difraktoqramlarına görə (003) Miller müstəvilərinə düşən pikin $2\theta = 12.02^\circ$ və 12.62° difraksiya bucaqlarında ikiləşməsi baş vermişdir. Burada ikiləşməyə əsas səbəb kristallaşma müddətinin böyük olması ilə əlaqədar gərgin (iti pik) və relaksasiya (enli pik) fazalarının əmələ gəlməsidir. Boyaq maddələrini sorbsiya etmiş kompozit məhluldan ayrılaraq qurudulmuş və Rentgen difraksiya analizi aparılmışdır. pH-in 2 və 9 qiymətlərində difraksiya piklərinin ikiləşməsi itmiş, bütün difraksiya bucaqlarında bir ədəd iti pik (gərgin faza) müşahidə olunmuşdur. Kəskin turş (pH = 2) və qələvi (pH = 9) mühitlərdə enli pikin itməsi aqressiv mühitdə yalnız gərgin fazanın mövcud olması ilə izah olunur. Hissəciklərin orta ölçüsünün boyaq maddələrinin sorbsiyasından sonra artmasına səbəb LiH-lərdə interkalyasiyanın baş verməsidir. Tartrazin, P4R və PA-V-in sorbsiyası ilə ZnAl-LiH-nin bazal məsafəsi 7.008 Å-dən müvafiq olaraq 7.490 Å, 7.250 Å və 7.110 Å-a kimi artmışdır.

Lakin difraksiya piklərinin ikiləşməsi PA-V-in sorbsiyası ilə artmışdır. Bu zaman svitterionun anion sahəsi ilə interkalyasiya edərək laylararası məsafə genişlənməklə yanaşı kation sahə “+” yüklənmiş təbəqələrlə itələmə qarşılıqlı təsirdə olduğundan təbəqələr genişlənməyə məruz qalmışdır.

Sorbsiyadan əvvəl və sonra alınan nanokompozitlərə aid İQ spektrlər **Şəkil 22**-də verilmişdir. Tikilmiş polimerin əmələ gəlməsi ZnAl-LiH-lərinin formalaşması ilə eyni zamanda baş verdiyindən LiH-in layları sıxılmış və su molekulları laylararası məsafəni qismən tərk etmişdir. Boyaq maddələrinin sorbsiyası ilə nanokompozitin spektrlərində həmin tezliklərdə enli udma zolağının əmələ gəlməsi LiH-lərin interkalyasiyası ilə izah olunur. PA-V molekulunda sulfoqruplar bir-birinə yaxın yerləşdiyindən LiH-in yalnız bir təbəqəsinə yönəlir və hər molekulda yalnız bir sulfoqrup LiH-lərin müsbət yüklənmiş təbəqəsi ilə qarşılıqlı təsirdə iştirak etmiş, digəri isə sərbəstdir və İQ spektrdə aydın intensivliklə görünür (**Şəkil 22b**). Lakin tartrazindəki sulfo qruplar bir-birindən çox uzaq yerləşdiyindən bu məsafə LiH-dəki laylararası məsafəyə uyğun

gəlmiş və tartrazinin sorbsiyası ilə molekuldakı sulfo qruplar LiH-in qarşı təbəqələrinə doğru yönəlmişdir.



Şəkil 22. a) P4R, b) PA-V və c) tartrazini sorbsiya etmiş və d) təmiz ZnAl-LiH/PVS-in İQ spektrləri.

LİH-lərin müsbət yüklənmiş təbəqələri ilə qarşılıqlı təsirdə iştirak etmişdir. Alkil- və arilsulfonatlarda olan SO_3^- qrupuna uyğun simmetrik və assimetrik valent rəqslərinin $1369\text{-}1290\text{ sm}^{-1}$ və $1170\text{-}1120\text{ sm}^{-1}$ tezliklərinə aid olduğunu bilərək bir P4R molekulunda aril sulfonat qrupu 3 ədəd olduğundan bu qrupa uyğun udma zolağı yüksək intensivliklə müşahidə olunmuşdur (**Şəkil 22a**).

Tartrazin, P4R və PA-V-in ilkin qatılıqlarının müvafiq 25, 15 və 6 mq/l qiymətlərində maksimum sorbsiya baş vermişdir (~95%). Boyaq maddələrinin sorbsiyası üçün əsasən Temkin izoterm modeli ən uyğun modeldir. Lakin, Tartrazinin sorbsiyası Langmuir, P4R və PA-V-in sorbsiyası isə Freundlich modelinə uyğun gəlmişdir. Sorbsiyanın həm Langmuir, həm də Freundlich modellərinə uyğun gəlməsi sorbsiya mərkəzlərinin həm homogen, həm də heterogen olmasını göstərir. Bu, nanokompozitin mürəkkəb tərkibli olması ilə əlaqədar ola bilər.

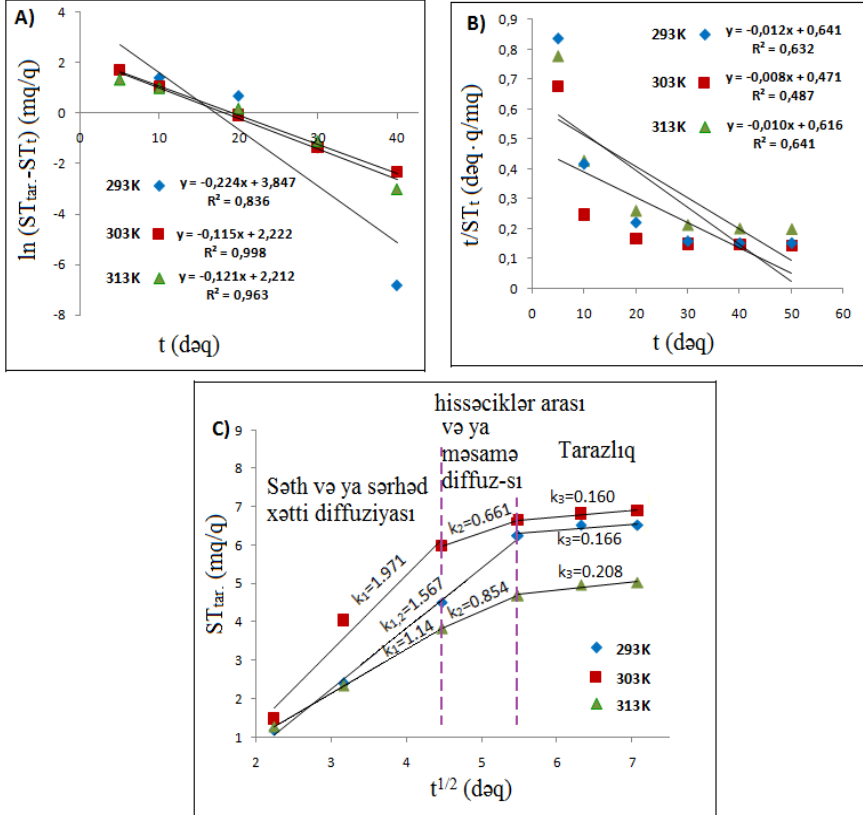
Aktivləşmə enerjilərinin tartrazin ($E = 0.941\text{ kC/mol}$), P4R ($E = 0.78$) və PA-V ($E = 1.52$) üçün hesablanmış qiymətlərinə əsasən göstərilən sistem üçün sorbsiyanın fiziki xarakter daşdığını demək mümkündür.

Hissəciklərarası diffuziyayı təyin etmək üçün müxtəlif temperaturda (293 K, 303 K və 313 K) sorbsiya tutumunun tarazlıq qiymətlərinin ($ST_{\text{tar.}}$) sorbsiyanın getmə müddətindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur və **Şəkil 23**-də göstərilmişdir.

Hər bir qrafik iki və ya üç xətti hissəyə ayrılmışdır ki, bunlardan birinci, ikinci və üçüncü bölmələr müvafiq olaraq səth və ya sərhəd qatının diffuziyası, hissəcikdaxili və ya məsamə diffuziyası və tarazlıq diffuziyası kimi qəbul edilir (**Şəkil 23C**). Temperaturun təsirindən polimerdə mikroməsamələr genişlənmiş və reaksiya sürəti 303 K-də sorbsiyanın ilk dəqiqələrində maksimum olmuşdur ($k = 1,971$). Ümumiyyətlə, sərhəd qatının diffuziya sürətinin sabitləri (k_1)) hissəcikdaxili və ya məsamə diffuziya sürətinin sabitlərindən (k_2) və tarazlıq diffuziyasının sürət sabitlərindən yüksək olmuşdur. Bu da sürətli sorbsiyanı nümayiş etdirərək sərhəd qatının diffuziyasının üstünlük təşkil etdiyini göstərir.

Göründüyü kimi, ZnAl-LİH/PVS üzərində tartrazinin sorbsiyası üçün optimal temperatur 303 K olmuş və maksimum SD (R %) 50

dəqiqədə 96,2 % təyin edilmişdir. Temperaturun sonrakı artması ilə (313 K-də) polimer nanokompozitində olan mikroməsəmələr daha da genişlənmiş, boya molekullarının məsəmələrə diffuziya sürəti artmışdır. Bununla belə, boyanın məsəmələrə daxil olması qeyri-stabil olmuş, məsəmələrə udulmanın desorbsiyası ilə sobsiya dərəcəsi azalmışdır ($R = 89,7\%$)

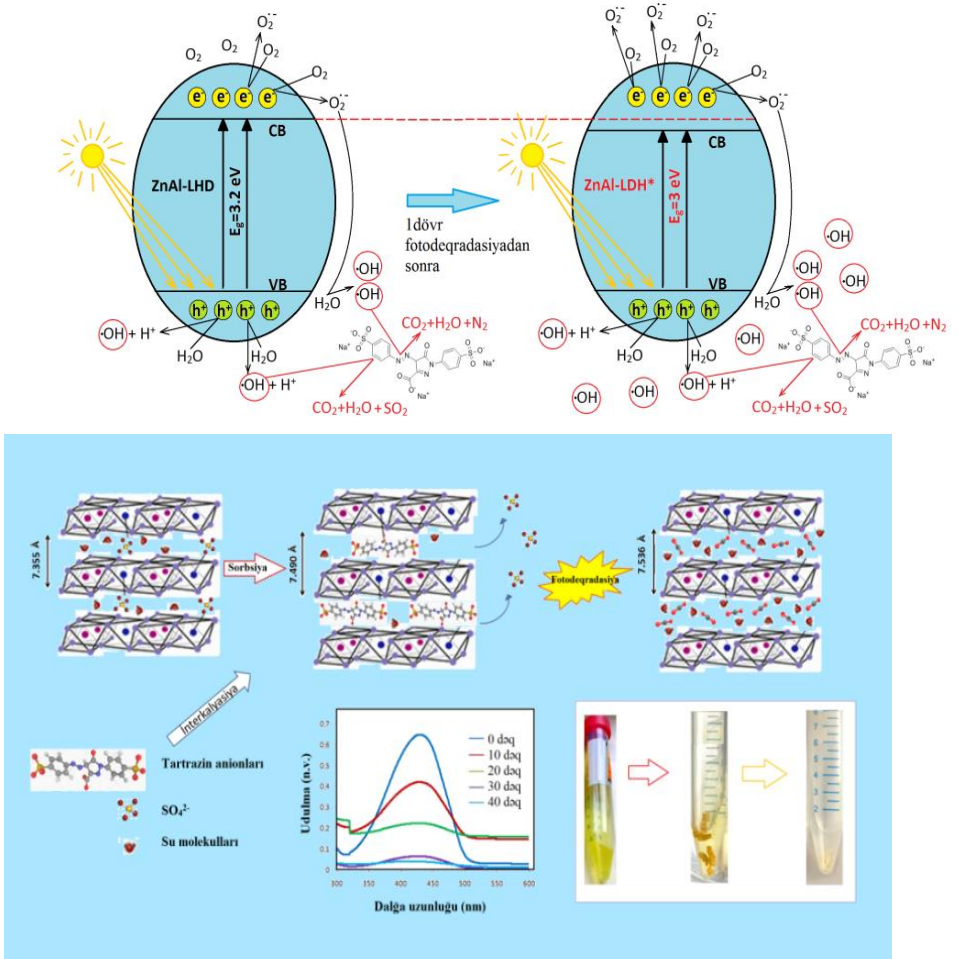


Şəkil 23. ZnAl-LiH/PVS nanokompozitində tartrazinin sorbsiyasının kinetik modelləri.

VII fəsilə alınmış nanokompozitlərin fotokatalizə tətbiqi və qanunauyğunluqlarının müzakirəsi verilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, sintez olunan ZnAl-LiH/PVS nanokompoziti tartrazin və P4R boyaq maddələri üçün günəş işığının ultrabənövşəyi və görünən şüaları ilə işləyə bilən əla

fotokatalizatorudur. Sorbentin təkrar istifadəsinə sorbsiya edilmiş boya molekullarının nanokompozitdə fotodeqradasiyası ilə nail olunmuşdur. $d_{(003)}$ parametrinin dövrü istifadədən sonra artması hər sonrakı sorbsiya prosesində daha çox tartrazin anionlarının təbəqələrarası boşluğa daxil olmasına səbəb olmuşdur və nanokompozitin istifadəsi dəfələrlə təkrarlana bilər. Tartrazinin ZnAl-LİH/PVS-də fotodeqradasiyasının ehtimal olunan mexanizmi Şəkil 24-də verilmişdir.

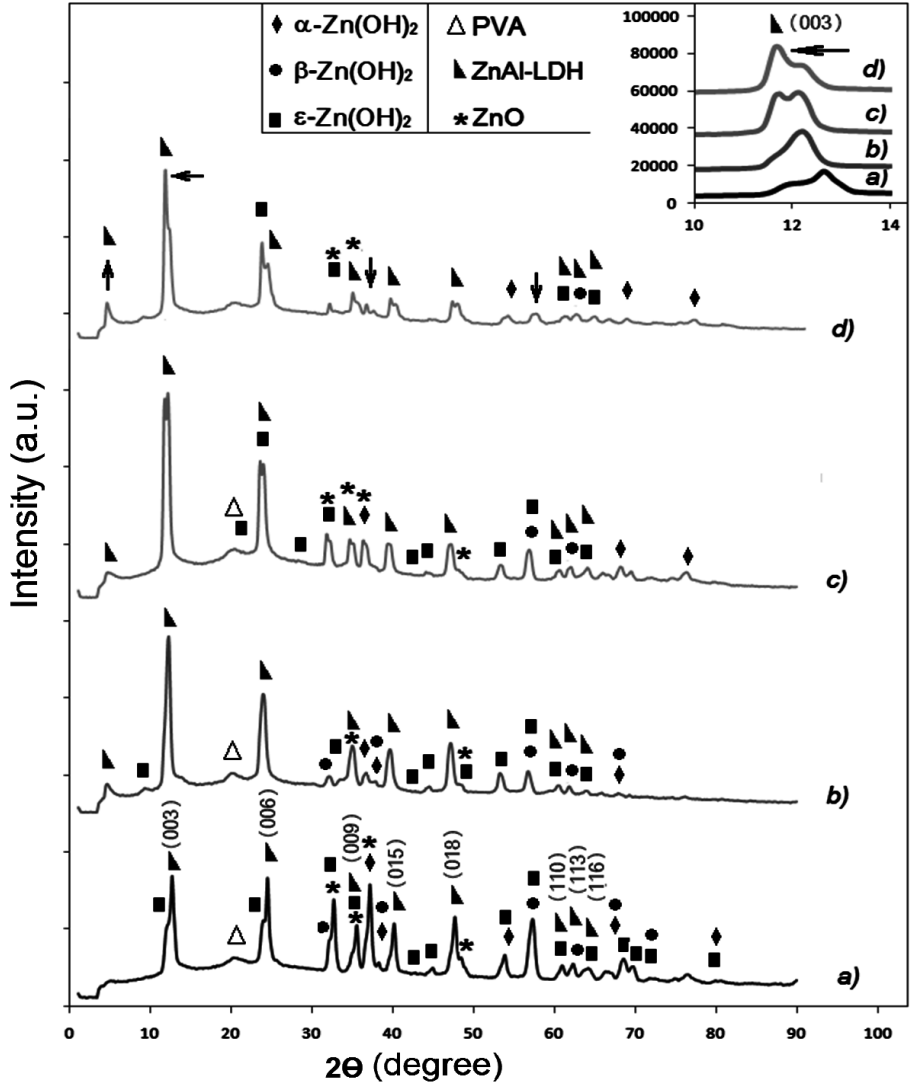


Şəkil 24. Tartrazinin ZnAl-LİH/PVS üzərində fotokatalitik parçalanmasının sxematik təsviri.

Tartrazin anionları ilə interkalasiya edilmiş nanokompozitin layları bir-birindən müəyyən qədər uzaqlaşmış, deqradasiya zamanı isə təbəqələrin sıxlaşması baş verməmişdir, əksinə, bir qədər də artıq genişlənməmişdir ($d_{003} = 7,358 \rightarrow 7,490 \rightarrow 7,536 \text{ \AA}$). d_{003} parametrinin dövrü istifadədən sonra artması hər sonrakı sorbsiya prosesində daha çox Tartrazin anionlarının təbəqələrarası boşluğa daxil olmasına səbəb olmuş, nanokompozitin təkar istifadə imkanı artmışdır.

PVS iştirakında və polimersiz sintez olunmuş ZnAl-LİH ilə P4R (E124) qida boyasının fotodeqradasiyası. PVS ilə LİH-lərin əmələ gəlməsi zamanı ZnAl-LİH ilə birlikdə sink oksidi (ZnO) və hidrosidləri (λ, α, β) Zn(OH)₂ alınmışdır. Bunun əsas səbəbi nanokristalların müxtəlif kristallaşma sürətləri və qələvi məhlulun qatılığının yüksək olmasıdır. Beləliklə ortorombik quruluşlu və P2₁2₁ fəza qrupuna malik ϵ -Zn(OH)₂ (ICSD # 50447), tetraqonal $a = b = 6.825$ və $c = 33.36$ qəfəs parametrlərinə malik α -Zn(OH)₂ (JCPDS No. 41-1359) və heksaqonal, $a = b = 3.192$ və $c = 4.65$ qəfəs parametrlərinə malik β -Zn(OH)₂ (JCPDS No. 24-1444) kristallaşmışdır (**Şəkil 25**). Difraksiya piklərinin ikiləşməsi sorbsiyadan sonra itmiş, fotodeqradasiyadan sonra qismən əvvəlki vəziyyətinə qayıtmış, bazal boşluq daha da genişlənməmişdir.

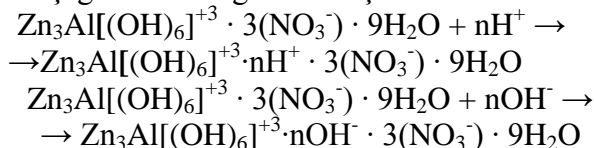
İnterkalasiya o qədər də yüksək olmasa da ($7,00 \text{ \AA} > 7,62 \text{ \AA}$), ZnAl-LİH(ACTB) və ZnAl-LİH/PVS nümunələrində qadağan olunmuş zonanın eni müvafiq olaraq 3,23eV-dan 2,87 eV-a və 3,25 eV-dan 2,82 eV-ə qədər əhəmiyyətli dərəcədə azalmışdır. Qadağan olunmuş zonanın eninin belə kəskin azalması katalizatorun təkrar istifadə imkanını artırır. Beləliklə, fotodeqradasiyada bir dəfə istifadə edilən katalizatorun aktivliyi hər sonrakı istifadədə artmışdır. Oksigenin 2p səviyyəsindən Zn və Al-un keçirici səviyyəsinə elektron ötürülməsi üçün tələb olunan enerji azalmışdır. Bazal məsafənin artması ilə hissəciklərin orta ölçüsü azalsa da laylar arasındakı fiziki qüvvələr zəiflədikcə, təbəqələrin dayanıqlığı da zəifləmişdir. P4R-in fotodeqradasiyasından sonra nanokompozitdə qadağan olunmuş zonanın eni azalmış, oksigenin 2p səviyyəsindən Zn və Al-un keçirici səviyyəsinə elektronun keçid enerjisi artmışdır.



Şəkil 25. ZnAl LİH/PVS nanokompozitinin Rentgen difraktoqramları: a) ilkin, b) P4R-in sorbsiyasından sonra, c) P4R-in aralıq fotodeqradasiya vəziyyətində və d) P4R-nin tam fotodeqradasiyasından sonra

Nümunələrin FL analizinə əssən polimerlə bağlı emissiyalar bütün spektrlərdə rast gəlinmişdir. Artan səth defektləri və səthin kifayət qədər aşınması səbəbindən molekulyar qarşılıqlı təsir hesabına ZnAl-LiH-ə uyğun daha yüksək emissiya müşahidə olunmuşdur. Nanokompozitin spektrində dərin səviyyəli emissiya (DSE) görünmüş və daha intensiv maksimumlar sərbəst eksitonların rekombinasiyasını göstərmişdir ¹².

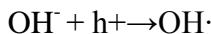
İşdə fotokatalizatorun aktivliyinə pH-ın təsiri öyrənilmişdir. ZnAl-LiH-inin səthi turş mühitdə müsbət, qələvi mühitdə isə mənfi yüklənir. ZnAl-LiH-in kristal qəfəsi müsbət yükləndiyindən turş mühitdə nanokompozitin səthində müsbət yüklərin qatılığı artacaq. Bu, anion boyaların sorbsiyası üçün əla haldır. Qələvi mühitdə isə OH⁻ hissəciklərinin sayı artdığından kristal qəfəsi müsbət yüklənmiş ZnAl-LiH katalizatorunun səthi neytrallaşacaq. Bu halda fiziki sorbsiya üstünlük təşkil edəcək və udulma yalnız nanokompozitin məsamələrində baş verəcəkdir. Turş və qələvi mühitlərdə nanokompozit aşağıdakı kimi göstərilmişdir:



Tədqiqat işində katalizator kimi ZnAl-LiH götürülmüş və P4R-in sorbsiya sürəti pH = 2 və 4 -də maksimum olmuşdur. Fotodeqradasiya ·OH radikallarının boyaq molekullarına dağıdıcı təsirindən qaynaqlandığı üçün OH⁻ ionlarının artması da mühüm rol oynaya bilər ^{13,14}. Bir ədəd OH⁻ anionu özünə bir ədəd deşik (h⁺) hissəciyi birləşdirərək ·OH radikalını əmələ gətirir.

¹² Zhang, Z. Eco-friendly nanostructured Zn-Al layered double hydroxide photocatalysts with enhanced photocatalytic activity / Z. Zhang, Z. Hua, J. Lang [et al.] // CrystEngComm, - 2019. 21, - p. 4607–4619.

¹³ Bouarroudj, T. Photodegradation of tartrazine dye favored by natural sunlight on pure and (Ce, Ag) co-doped ZnO catalysts / T. Bouarroudj, L. Aoudjit, L. Djahida [et al.] // Water Science and Technology, - 2021. 83, - p. 2118. doi:10.2166/wst.2021.106

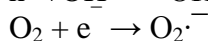
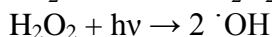
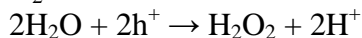
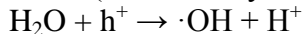
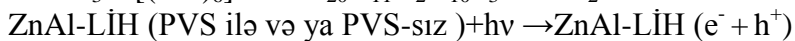
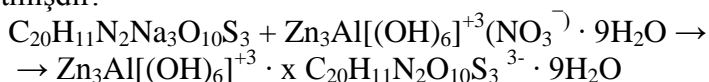


Bununla belə, boyaq molekullarının fotokatalizatorada tam parçalan-ması və katalizatorun regenerasiyası pH-7-də 5 saat ərzində 100% olmuşdur.

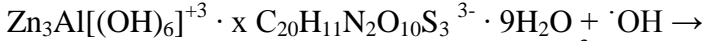
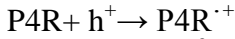
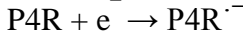
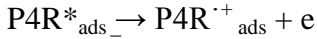
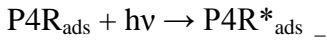
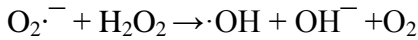
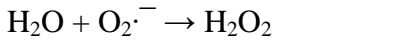
P4R-in ZnAl-LİH/PVS və ZnAl-LİH üzərində fotodeqradasiya sürəti Langmuir – Hinshelwood (L-H) kinetik modeli ilə öyrənilmişdir. P4R boyaq maddəsinin ZnAl-LİH/PVS üzərində sorbsiyasının Langmuir sabitinin qiyməti ($K_L = 0,102$) Langmuir – Hinshelwood sabitinə ($K_{L-H} = 0,094$) yaxındır. Lakin PVS iştirakı olmadan sintez edilən ZnAl-LİH fotokatalizatorunda bu iki sabitin qiymətləri bir-birindən kəskin fərqlənir ($K_L = 0,021$, $K_{L-H} = 0,001$). K_L sorbent və sorbat molekulları arasında sərbəst Gibbs enerjisi ilə izah edildiyindən, K_L -in yüksək qiyməti sorbent və sorbat molekulları arasında güclü qarşılıqlı təsirdən xəbər verir. Boyaq molekulları LİH-lərə interkalyasiya etdiyindən düz istiqamətdə sorbsiya və fotodeqradasiya təmin edilmişdir.

$\ln(C_0/C)$ -ın şüalanma müddətindən asılılıq qrafikinə görə, ZnAl-LİH/PVS-də P4R-in fotodeqradasiyasının sürət sabitləri ilkin qatılığın 12 mq L^{-1} -dən 30 mq L^{-1} -ə kimi artması ilə $0,0232$ -dən $0,026$ -ya kimi artmış, və qatılıq 50 mq L^{-1} -ə çatdıqda isə $0,026$ -dan $0,0177$ -yə kimi azalmışdır.

P4R boyaq maddəsinin fotodeqradasiyası aşağıdakı kimi getmişdir:



¹⁴ Chen, Y. Role of primary active species and TiO₂ surface characteristic in UV-illuminated photodegradation of Acid Orange 7 / Y. Chen, S. Yang, K. Wang [et al.] // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, - 2005. 172, - p. 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.11.006>



Fotodeqradasiya məhsulları + $\text{Zn}_3\text{Al}[(\text{OH})_6]^{+3}(\text{NO}_3^-) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
(regenerasiya olunmuş katalizator)

Nokompozitin xüsusi səth sahəsi P4R-in fotodeqradasiyadan əvvəl və sonra BET analizi ilə müvafiq olaraq 4,9 m²/q və 11,65 m²/q olmuşdur. Xüsusi səth sahəsinin artması katalizatorun fotokatalitik aktivliyinin artmasını ifadə edir.

PVS iştirakı olmadan alınmış nanokompozitdə, çirkləndiricinin sulu məhlulunda aşağı qatılıqlarında fotodeqradasiyanın sürət sabiti 0,044-dən 0,0437-ə qədər azalmış və boya maddəsinin ilkin qatılığının sonrakı artması ilə 0,0437-dən 0,0481-ə qədər artmışdır. PVS ilə və PVS olmadan əldə edilən nanokompozitlərdə reaksiyanın sürət sabitlərinin belə ziddiyyətli dəyişməsi müxtəlif amillərlə izah edilə bilər. Bu zaman boya molekullarının ZnAl-LiH nanokompozit katalizatorunun aktiv səthinə yaxınlaşması boya məhlulunun aşağı qatılığı ilə məhdudlaşır. Məhlulun qatılığı artdıqca bu ehtimal da müəyyən həddə qədər artmışdır.

ZnAl-LiH / PVS nanokompozitində boyaq molekulları ilk növbədə aşağı qatılıqlı boya məhlulunda polimer nanokompozitin nanoməsələrinə daxil olur. Bu halda, fotokatalizatorun səthi boya molekulları ilə asanlıqla qarşılıqlı təsirdə olan işıqla aktivləşir. PVS boya molekullarını tutur və onları ZnAl-LiH ionkeçiricinin səthinə ötürür. Polimer olmadıqda, aşağı qatılıqlı boyaq molekullarının katalizator səthinə yaxınlaşma ehtimalı azalır. Boyaq molekullarının qatılığının artması ilə ZnAl-LiH nanokompozitində fotodeqradasiyanın sürət sabiti PVS ilə azalmış (0,025-dən 0,0177-yə) və PVS-sız isə (0,043-dən 0,048-ə qədər) artmışdır. Belə hallar həm də polimer matrisi ilə birbaşa bağlıdır. Polimer LiH-in səthini örtüyü üçün səthə müəyyən sayda boyaq molekulları daşıyır.

Bununla belə, boya molekullarının böyük ölçüləri və məhlulda qatılığının artması onların polimerdə sorbsiya sürətini azaldır.

Ponso 4R molekullarının sürətli parçalanması nəticəsində əmələ gələn polyar qaz molekulları katalizator səthindən ayrılmış və qaz molekullarının işıq altında sürətli hərəkətləri ağır boya molekullarının xotik hərəkətini artırmışdır. Beləliklə, katalizator səthinin tutulmasının qarşısı alınmış və fotodeqradasiya sürətlənmişdir. Parçalanmanın sürətlənməsi həm də onunla izah olunur ki, ayrılan polyar qaz molekulları işığı udaraq və onu yaxınlıqdakı katalizatora emissiya etmişdir.

Fotodeqradasiyadan sonra nanokompozit məhluldan ayrılmış və Zn^{2+} və Al^{3+} ionlarının məhlula keçən miqdarı İCP ilə analiz edilmişdir. Analizə əsasən sorbentdən (eyni zamanda fotokatalizatorndan) məhlula keçən Zn^{2+} və Al^{3+} ionlarının qatılığı müvafiq olaraq 14,906 mq/l və 0,040 mq/l olmuşdur. Göründüyü kimi, Al^{3+} -ionlarının məhlula keçən miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə azdır, lakin Zn^{2+} ionlarının məhlula keçən miqdarı içməli suda Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının və ya Ətraf Mühitin Mühafizəsi Agentliyinin icazə verilmiş maksimal miqdarını (5 ppm) keçmişdir. Fotokatalizatorun dövrü istifadəsi ilə Zn^{2+} ionlarının məhlula keçən miqdarını azaltmaq mümkün olmuş, iki istifadə dövründən sonra bu miqdar 4,105 mq/l-ə kimi azalmışdır.

P4R və Rodamin 6G (R6G) boyaq maddələrinin qələvi torpaq, keçid və nadir torpaq metalları ilə aşqarlanmış ZnAl-LİH/PVS nanokompozitləri ilə fotodeqradasiyası.

Cədvəl 7-dən göründüyü kimi təmiz nanokompozitin sorbsiya dərəcəsi Cd, Cu, Fe, Co, Ni və Ca aşqar elementləri ilə artmış, Ag və Sr ilə azalmışdır. Maksimal sorbsiya dərəcəsi müsbət yüklərin artması səbəbindən anion boyada Cu və Cd aşqar metallarla müşahidə olunmuşdur. Sorbsiyadan fərqli olaraq, aşqarlanmamış ZnAl-LİH/PVS nanokompozitinin fotodeqradasiya dərəcəsi anion tipli boya (P4R) –ilə yüksəkdir (92,07 %), lakin bu nəticə Cd, Fe, Ag, Co, Sr və Ca element-ləri ilə gücləndirilmişdir. Qadağan olunmuş zonanın eni 3,12eV-dan Sr və Ag ilə 3,1eV-ə, Pb ilə 3,09 eV, Cd ilə 3,08 eV, Co ilə 3,06 eV, Cu və Ni ilə 3 eV, Fe ilə 2,6 eV və La ilə 2,2 eV-a qədər azalmışdır.

Cədvəl 7. Anion tipli boyaq maddəsinin (P4R-in) təmiz və aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS-də sorbsiyası və fotodeqradasiyası.

Aşqar metal	-	Cd	Cu	Fe	Ag	Co	Ni	Sr	Ca	Pb
SD %	51,98	64,40	66,54	54,92	43,47	54,74	55,99	45,97	51,87	41,68
PD %	92,07	94,09	60,08	94,90	93,10	93,48	89,00	95,32	92,26	91,04

Cədvəl 8-dən göründüyü kimi, ZnAl-LiH/PVS-də kation tipli boyaq maddələrinin sorbsiyası zəif olsa da, fotodeqradasiya effektiv getmişdir, 19,59 %-dən 88,54 %-ə kimi yüksəlmişdir

Cədvəl 8. Kation tipli boyaq maddəsinin (R6G-in) təmiz və aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS-də sorbsiyası və fotodeqradasiyası.

Aşqar metal	-	Cd	Cu	Fe	Ag	La	Ni	Sr	Ca	Pb
SD %	19,59	23,51	16,45	10,68	19,00	5,78	10,97	17,43	16,93	10,58
PD %	88,54	79,43	66,01	57,98	81,78	67,9	66,11	81,3	75,51	65,13

MA və KQ boyaq maddələrinin füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS ilə fotodeqradasiyası. Sintez olunmuş və füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS nanokompozitlərin sorbsiya və fotodeqradasiya qabiliyyəti üzvi çirkləndiricilər olan kation tipli MA və anion tipli KQ boyaq maddələrinin üzərində öyrənilmişdir. Sulu məhlullardan boyaq maddələrinin fotodeqradasiyası 150 Vt gücündə işıq lampası altında otaq temperaturunda davamlı maqnit qarışdırıcı iştirakında aparılmışdır. Nümunə ilə işıq arasındakı məsafə 10 sm götürülmüşdür. Məhlulların rəngsizləşməsi UB-Gör. spektrometri ilə ölçülmüş, nanokompozitlərin fotodeqradasiya dərəcəsi hesablanmışdır. LiH-lər müsbət yüklənmiş təbəqələrdən ibarət olduğundan onlar anionların sorbsiyası üçün çox yaxşı sorbentdirlər. Buna görə də, sintez olunan nanokompozitlərdə KQ-nın sorbsiya tutumu və dərəcəsi MA-dan yüksəkdir (Cədvəl 9). ZnAl-LiH/PVS nanokompozitini füllerenlə aşqar-lamaqla onların kation tipli boyaq

maddələrinə görə sorbsiya və fotodeqradasiya etmə qabiliyyəti artmışdır. Bu halda ZnAl-LiH/PVS nanokompoziti üçün füllerenin optimal miqdarı 20% təşkil etmişdir.

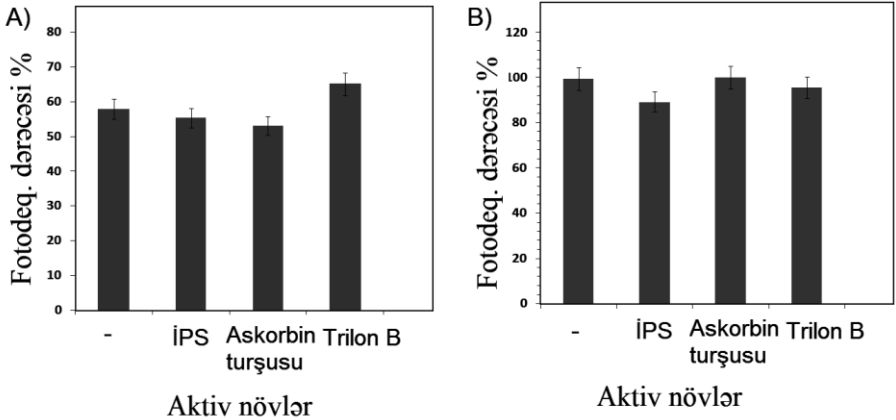
Cədvəl 9. Füllerenlə aşqarlanmış ZnAl-LiH/PVS üzərində boyaq maddələrinin fotodeqradasiya parametrləri (t=360 dəq.)

Nümunələr	SD (%)	FD (%)	k_{app} (dəq ⁻¹)	R ²
Metilen abısı üçün				
ZnAl-LiH/PVS	48.46	81.63	0.002	0.986
10% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	57.24	89.16	0.003	0.970
20% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	85.55	96.98	0.004	0.890
60% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	59.76	87.47	0.003	0.976
Konqo qırmızısı üçün				
ZnAl-LiH/PVS	68.00	91.37	0.017	0.940
1% C ₆₀ /ZnAl-LiH/PVS	95.3	98.78	0.024	0.802

Metilen abısının nanokompozitdə tam fotodeqradasiyası 10 saatlıq şüalanma zamanı baş vermişdir (FD% = ~99%). **Cədvəl 9**-dən görüldüyü kimi, fotodeqradasiyanın sürət sabiti C₆₀ -ın daxil edilməsi ilə artmış, Konqo qırmızısı üçün ən yüksək k_{gör.} qiyməti 1% C₆₀-la (k_{gör} = 0,024) müşahidə edilmişdir Fotodeqradasiyada iştirak edən aktiv növləri [hidroksil radikalı (•OH), superoksid anion radikalı (•O₂⁻) və deşiklər (h+)] təyin etmək üçün izopropil spirti (İPS), askorbin turşusu və Trilon B-nin 0.005 M məhlullarından istifadə edilmişdir. MA-nın və KQ-nın fotodeqradasiya dərəcəsinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması uyğun olaraq askorbin turşusunun və İPS-nin iştirakı ilə •O₂⁻ anion radikalları və •OH radikalları hesabına getdiyi müəyyən edilmişdir. Metilen abısı kation tipli olduğuna görə

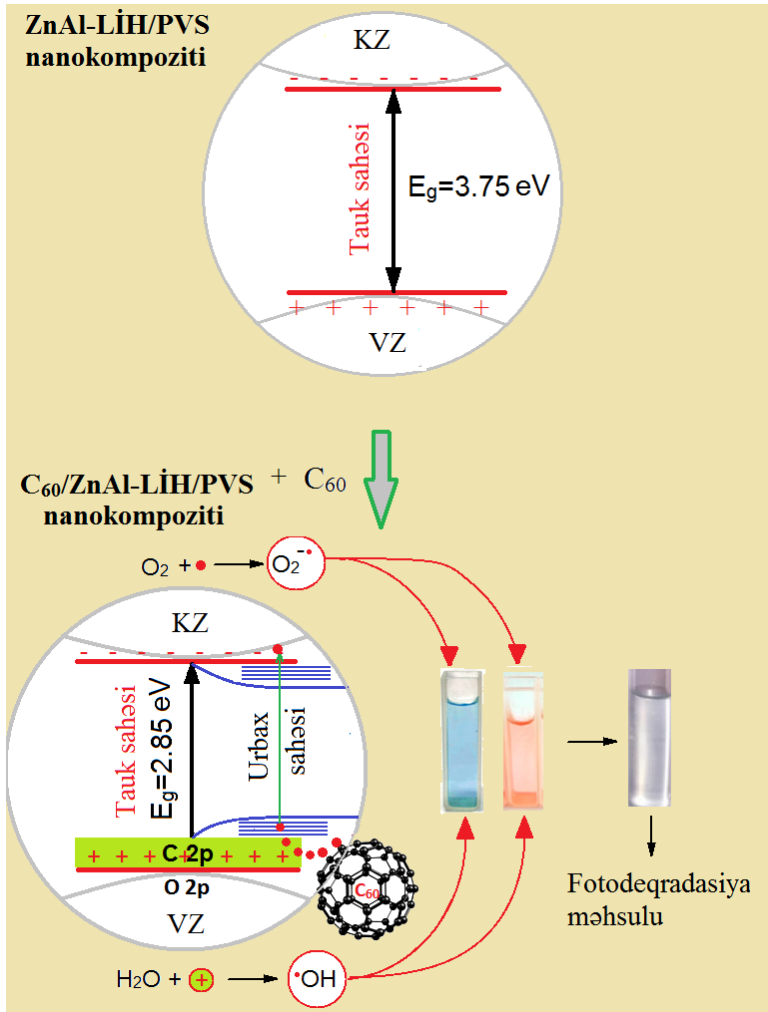
onun fotodegradasiyası mənfi yüklənmiş superoksid anion radikalları hesabına getmişdir. Əvvəlki işlərdə¹⁵ müşahidə edilmişdir ki, aktiv növlərin təsiri eyni katalizator da müxtəlif boyaq maddələri (MA və KQ) üçün eyni və ya çox oxşardır. Tədqiqat işində müəyən edildi ki, katalizatorun səthində bütün məlum aktiv növlər yaransa da, boyaq molekullarının təbiəti və yükü fotodegradasiyanın əsasən hansı aktiv növ hesabına getməsinə təsir göstərir (**Şəkil 26**).

MA və KQ boyaq maddələrinin C₆₀/ZnAl-LiH/PVS üzərində fotodegradasiyasının ehtimal olunan mexanizmi **Şəkil 27**-da verilmişdir. Göründüyü kimi, C₆₀-la aşqarlanmadan sonra nanokompozitin qadağan olunmuş zonasının eni azalmış, Urbach sahəsi yaranmışdır. Şüalanma nəticəsində füllərinin p yarımşəviyyəsindəki elektronlar valent zonanı örtmüş və yaranan Urbach zonası hesabına elektronların keçirici zonaya keçid enerjisi azalmışdır.



Şəkil 26. Aktiv növlərin (A, B) və birinci dərəcəli kinetik parametrlərin təyini.

¹⁵ Saleh, R. A. Degradation of Methylene Blue and Congo-Red Dyes Using Fenton, Photo-Fenton, Sono-Fenton, and Sonophoto-Fenton Methods in the Presence of Iron(II,III) Oxide/Zinc Oxide/Graphene (Fe₃O₄/ZnO/Graphene) Composites / Saleh, R.; Taufik, A. // Sep. Purif. Technol. -2019. 210, -p. 563–573.



Şəkil 27. MG və KQ boyaq maddələrinin C₆₀/ZnAl-LiH/PVS üzərində fotodeqradasiyasının ehtimal olunan mexanizmi.

NƏTİCƏLƏR

1. İşdə CoCr, CoAl, ZnAl, NiZnAl, CdZnAl tərkibli laylı ikili hidroksidlərin, ZnO və Zn₆Al₂O₉ metal oksidlərin, Ni_xZn_{1-x}S, Cd_xZn_{1-x}S və Cu_xCd_{1-x}S üçlü sulfidlərin PVS və funksionallaşmış nitril kauçuku ilə nanokompozitləri sintez edilmiş, LiH-lərin qələvi-

torpaq- (Ca, Sr), keçid- (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Fe), nəcib- (Ag) və nadir torpaq-(La) elementləri və füllerenlə aşqarlanması aparılmış, alınmış nanomateriallar tədqiq edilmiş, metal ionlarına və boyaq maddələrinə görə sorbsiya və fotokatalitik xassələri öyrənilmişdir. Reaksiya parametrlərini, reagentlərin işlənmə ardıcılığını, metalların nisbətini, interkalyasiyaedici agentləri, anionların təbiətini və polimerin tərkib faizini dəyişməklə, nanohissəciklərin xassə-lərinə, ölçüsünə, qadağan olunmuş zonanın eninə, morfologiyasına, sorbsiya və fotokatalitik xassələrinə təsir etmək mümkün olmuşdur [1-63].

2. CoCr-LiH və monohidroksidlərin sintezi və modifikasiyası göstərir ki, pH-ın aşağı qiymətlərində (pH ~ 7) LiH ilə bərabər α - və β -Co(OH)₂, Cr-un artıq miqdarında isə amorf Cr(OH)₃ əmələ gəlmişdir. St və NaSt ilə interkalyasiyadan sonra CoCr-LiH-in bazal məsafəsi 7,366 Å-dən müvafiq olaraq 7,428 Å və 25,214 Å-ə qədər artmış, qələvi məhlulun yüksək qatılıqlarında reaksiya yüksək kristallaşma ilə nəticələnmişdir. İnterkalyasiyadan sonra hissəciklərin orta ölçüsünün azalması üzvi qrupların laylararası boşluğa daxil olması və hissəciklərin parçalanması ilə əlaqədardır [3,4,6-10,12].

3. ZnAl-LiH-i və ZnO nanohissəcikləri NaOH-ın müvafiq <2M və >2M qatılıqlarında əmələ gəlmişdir. 2M və 5M NaOH ilə sintez zamanı ZnAl-LiH nanohissəcikləri ilə yanaşı ZnO fazasının xarakterik piklərinin əmələ gəlməsi Al-un amfoter xassəsi ilə izah edilmişdir. Sintezdə karbamiddən istifadə edildikdə ayrılan karbonat anionları LiH-lərin təbəqələrinə interkalyasiya etmiş və bazal boşluq 9.51Å olmuşdur. [14,15,17,22].

4. Birgə formalaşma metodu ilə sintez olunmuş ZnAl-LiH/PVS nanokompozitində PVS-ə aid difraksiya piki nanokompozitin əmələ gəlməsi ilə yuxarı bucağına doğru sürüşmüş, PVS-in LiH-lər vasitəsilə tikilməsi baş vermişdir. ZnAl-qarışıq oksid/PVS nanokompozitində hissəciklərin orta ölçüsünün daha kiçik olmasına səbəb PVS-in LiH hissəciklərini örtməsi və nanohissəciklərin sonrakı böyüməsinin qarşısının alınmasıdır [39,40,42].

5. ZnAl-qarışıq oksid/PVS nanokompozitinin SEM ilə çiçək və ulduzşəkilli morfologiyanın müşahidə olunması iki növ kristalın (ZnO və Zn₆Al₂O₉) əmələ gəldiyini göstərmişdir. Hissəciklərin hər

birinin çubuq və iynəşəkili nanokristallardan təşkil olunduğu güclü-Zn-O- rabitəsinin formalaşmasını bildirir. Nanokompozitin tərkibindəki ZnO və Zn₆Al₂O₉ nanokristalları üçün Zn-O əlaqəsinə aid iki növ optiki elektron keçid müəyyən edilmişdir: 1) oksigenin dolmuş 2p orbitalları ilə sinkin 4p və 4s orbitalları; 2) Zn₆Al₂O₉ kristalındakı oksigenin dolmuş 2p orbitalları ilə alüminiumun boş 3s orbitalları arasında [22,33].

6. ZnAl qarışıq oksid/PVS ilə Pb²⁺-ionlarının sorbsiyasının mexanizmi əsasən psevdokinci dərəcəli kinetik modelə və Freundlich izoterminə uyğun gəlmişdir. Təkrar istifadənin doqquz dövründən sonra Pb²⁺ ionlarının sorbsiya dərəcəsi 63,177%-ə olmuş və bu nəticə sorbentın regenerasiyasının yüksək olduğunu göstərmişdir [14, 15,18].

7. Tartrazin, P4R və PA-V boyaq maddələrinin birgə formalaşma ilə alınmış ZnAl-LİH/PVS nanokompozitində sorbsiyasından sonra ZnAl-LİH-inə aid məxsusi difraksiya piklərinin aşağı difraksiya bucaqlarına doğru sürüşməsi və nanokristallitlərin orta ölçüsünün artması LİH laylarına boyaq molekullarının interkalasiyası ilə izah olunmuşdur. Nanokompozitin regenerasiyası fotodeqradasiya ilə təmin edilmiş, sorbsiya və fotokatalitik aktivliyi təkrar istifadə ilə artmışdır [23,25,31, 32,34,35,52].

8. ZnAl-LİH və ZnAl-LİH/PVS nanokompozitləri üzərində P4R boyaq maddəsinin fotodeqradasiyası günəş işığı altında öyrənilmişdir. ZnAl-LİH/PVS nanokompozitində LİH-ə uyğun bütün difraksiya pikləri rahat (geniş pik) və gərgin (kəskin pik) fazaların əmələ gəlməsi ilə ikiləşmişdir. Boyaq molekullarının LİH-lərə interkalyasiyası ilə rahat faza itmiş, lakin fotodeqradasiya ilə bərpa olmuşdur [31,32,34,35,52].

9. P4R-in fotodeqradasiyasından sonra interkalyasiya yüksək olmasa da (7,00 Å->7,62Å), qadağan olunmuş zonanın eni azalmış, katalizatorun təkrar istifadə imkanı və effektivliyi artmışdır. Langmuir sabitinin qiymətinin ($K_L = 0,102$) kinetik hesablamalardan əldə edilən Langmuir – Hinshelwood sabitinin qiymətinə ($K_{L-H} = 0,094$) yaxın olması ilə düz istiqamətdə sorbsiya və fotodeqradasiya təmin edilmişdir [31,32,34,35,52].

10. ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin sulu məhlullardan PA-V-in effektiv sorbsiyası və fotodeqradasiyası ilə göstərilmişdir ki, sorbentin təkrar istifadəsi nanokompozitin quruluş və optiki xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Nanokompozitin həm aşağı, həm də yüksək pH-da optimal sorbsiyası PA-V boya molekulunun svitterion olması ilə izah olunmuşdur. Quruluş parametrləri, bazal boşluq, hissəciklərin ölçüsü və qadağan olunmuş zonanın eni sorbsiya və fotodeqradasiya ilə qismən dəyişməsi PA-V-in ZnAl-LiH/PVS nanokompozitinə interkalasiya ilə izah olunmuşdur [34,49,55].

11. CdZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin birbaşa sulfidləşməsi ilə $Cd_xZn_{1-x}S$ nanohissəcikləri sintez edilmiş və alınmış nanokompozitlər m-krezolun sudan fotodeqradasiyasına tətbiq edilmişdir. CdZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin fotokatalitik aktivliyinin sulfidləşmədən sonra əhəmiyyətli dərəcədə artması hissəciklərin ölçüsünün kiçilməsi, səth sahəsinin artması, tam sulfidləşmənin getməsi və dispers paylanma ilə əlaqədardır [45,53,54,59,61].

12. $Cd_xZn_{1-x}S$ nanohissəcikləri FNK əsasında SILAR üsulu ilə sintez edilmiş, Cd : Zn molyar nisbətinin optiki, paramaqnit, quruluş, dielektrik, termiki xassələrinə və səthin morfologiyasına təsiri öyrənilmişdir. Üçlü sulfidin kristal qəfəsinin davamlılığı kadmiumun miqdarının artması ilə artmışdır. Nanohissəciklərin orta ölçüsü SEM ilə ~25-50 nm, TEM ilə ~10-20 nm-dir. CdS/FNK nanokompozitinin EPR spektrləri geniş, sinqlet asimmetrik olub, izotrop simmetriyaya malikdir ($g_x=g_y=g_z$). BNK ilə müqayisədə FNK əhəmiyyətli dərəcədə termiki davamlılıq nümayiş etdirmiş və onun nanohissəciklərin formalaşmasında stabilizirici kimi tətbiqi olduqca əlverişlidir [2,5,16,20,24,36,37,62].

13. $CdCuS_2$ nanohissəcikləri FNK əsasında SILAR üsulu ilə sintez edilmiş, 3 dövrdə CdS-ə uyğun, 15 dövrdə CuS-ə uyğun piklər üstünlük təşkil edərək müvafiq dövrlərdə ikili sulfidlərin kristal qəfəsi dominant olmuş, bu hal ifrat doyma və kimyəvi potensialın təsiri ilə izah edilmişdir. $CuCdS_2$ /FNK üçün əldə edilmiş geniş qadağan olunmuş zonanın eni (~3.7 eV) nanohissəciklərin formalaşmasının FNK-nın məhdud həcmində getməsi ilə əlaqədardır [11,29,50,51,63].

14. ZnAl-LİH/PVS nanokompozitinin füllerenlə qeyri-kovalent aşqarlanması nəticəsində alınmış nanokristallitlərin orta ölçüsü və bazal məsafə artmış, dislokasiya sıxlığı (δ) azalmışdır. MA-nın nanokompozitdə tam fotodeqradasiyası 10 saatlıq işıqlanma ilə baş vermişdir (~99%). Məlum olmuşdur ki, fotokatalitik oksidləşmə nəticəsində katalizatorun səthində bütün məlum aktiv növlər yaransa da, boyaq molekullarının təbiəti fotodeqradasiyanın əsasən hansı aktiv növ hesabına getməsinə təsir göstərir [56-58].

15. Alınmış nanokompozitlərin sorbsiya və fotodeqradasiya qabiliyyətini artırmaq məqsədi ilə ZnAl-LİH/PVS qələvi-torpaq (Ca, Sr), keçid- (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Fe), nəcib- (Ag) və nadir torpaq- (La) elementləri ilə hopdurma metodu ilə aşqarlanmışdır. Maksimal sorbsiya dərəcəsi müsbət yüklərin artması səbəbindən anion tipli boyaq maddəsində Cu və Cd aşqar metallarla müşahidə olunmuşdur. Qadağan olunmuş zonanın eni aşqar elementləri ilə Sr, Ag, Pb(II), Cd, Co(III), Cu(II), Ni(II), Fe(II) və La(III) ardıcılığında azalmış, h+ və e- cütlərinin rekombinasiyasına və radikallar yaradaraq boyaların parçalanmasına təsir göstərmişdir [19,21,26,27,28,30,38,40,41,46].

Dissertasiyanın mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər:

1. Muradov, M.B. Synthesis and characterization of cobalt sulfide nanoparticles by sonochemical method / M.B.Muradov, O.O.Balayeva, A.A.Azizov [et al.] // *Infrared Physics & Technology*, -2018. 89, -p. 255-262. **Web of Science**.

2. Maharramov, A.M. Effect of metal ions on the thermal degradation of chlorophosphorylated NBR / A.M.Maharramov, A.A.Azizov, O.O.Balayeva [et al.] // *New Materials, Compounds and Applications*, -2018. 2, -p. 5-9. **Web of Science**.

3. Balayeva, O.O. Synthesis, Modification and Optical Characterization of Co-Cr Layered Double Hydroxide / O.O.Balayeva, A.A. Azizov, M.B. Muradov [et al.] // *Journal of Materials and Applications*, -2018. 7 (2), -p. 90-95.

4. Balayeva, O.O. Synthesis and optical characterization of cocr-lhdhs using different concentrated base solutions ($C_{NaOH} = 10M$ and $20M$) / A.A. Azizov, M.B. Muradov, G.M.Eyvazova // *Journal of Baku Engineering University*, Baku: -2018. 2 (2), -p. 102-106.

5. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B., Alosmanov, R.M. $Cd_xZn_{1-x}S$ üçlü metal sulfid nanoquruluşlarının sintezi və tədqiqi // Akademik Murtuza Nağıyevin anadan olmasının 110 illiyinə həsr edilmiş beynəlxalq konfrans, -Bakı: - 27-28 October, – 2018. –s. 206.

6. Balayeva, O.O. Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B. Synthesis of Co(II)Cr(III)-layered double hydroxide and nitrile butadiene rubber based nanocomposites // II International scientific conference of young researchers. Baku Engineering University, -Baku: -27-28 April, –2018. –p. 198-200.

7. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B., Maharramov, A.M. Co(II)Cr(III)-LDH/NBR nanocomposites: synthesis and optical characterization // Magistrların və gənc tədqiqatçıların «Fizika və astronomiya problemləri» Beynəlxalq elmi konfransı, -Bakı: -24-25 May, –2018. –p. 246-249.

8. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B., Maharramov, A.M. CoII CrIII – əsaslı laylı ikili hidrokisidlərin müxtəlif temperaturalarda sintezi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-ci ildönümünə həsr olunmuş XII Respublika Elmi Konfransı «Kimyanın aktual problemləri» , -Bakı: -25-26 May, – 2018. –s. 170-171.

9. Balayeva, O.O. Cobalt chromium-layered double hydroxide, α - and β - $Co(OH)_2$ and amorphous $Cr(OH)_3$: synthesis, modification and characterization/O.O.Balayeva, A.A.Azizov, M.B.Muradov, R.M. Alosmanov // Heliyon, –2019. 5, –p. 1-7. **Web of Science.**

10. Balayeva, O.O. CoCr-laylı ikili hidrokisidlərin sintezinə müxtəlif reaksiya parametrlərinin təsiri / O.O.Balayeva, Azizov A.A., Muradov M.B // Bakı Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, –2019. №1, –s. 31-38.

11. Gahramanli, L.R. The influence of temperature and concentration of solutions to physical properties of Cu_xS nanoparticles / L.R.Gahramanli, M.B.Muradov, O.O.Balayeva, G Eyvazova, [et al.] // Chalcogenide Letters –2019. 16, –p. 587-594. **Web of Science.**

12. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B., Eyvazova, G.M. Kobalt-xrom əsaslı laylı ikili və qarışıq hidrokisidlərin sintezi //

III International scientific conference of young researchers. Baku Engineering University, -Baku: -22-23 April, – 2019. –p. 541-543.

13. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə. Dövri sistem tədrisdə // Kimyanın aktual problemləri”. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-ci ildönümünə həsr olunmuş XIII Beynəlxalq Elmi Konfrans, -Bakı: -15-16 May, 2019. –p. 15-17.

14. Balayeva, O.O., Mürsəlova, G.Q., Rəhimli, K.S., Əzizov, A.Ə. Zn-Al əsaslı LİH-lərin alınması və statistik mübadilə tutumunun öyrənilməsi. Kimyanın aktual problemləri” // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-ci ildönümünə həsr olunmuş XIII Beynəlxalq Elmi Konfrans, Bakı: -15-16 May, –2019. –s. 91-92.

15. Balayeva, O.O. Synthesis of zinc-aluminum mixed oxide/polyvinyl alcohol (ZnAl mixed oxide/PVA) and application in Pb(II) removal from aqueous solution / O.O.Balayeva, Azizov A.A., Muradov M.B. [et al.] // Journal of Dispersion Science and Technology. 2020. **Web of Science**.

16. Muradov, M.B., Formation mechanism of $Cd_xZn_{1-x}S$ / PVA nanocomposites by SILAR method / M.B.Muradov, L.R.Gahramanli, O.O.Balayeva, // Results in Physics, – 2020.18, – p. 1–9 **Web of Science**.

17. Balayeva, O.O., Azizov, A.A., Muradov, M.B., Alosmanov, R.M.. Synthesis and characterization of ZnAl-LDHs using different base solutions // International Conference dedicated to 100th Anniversary of Azerbaijan State Oil and Industry University, -Baku: -24-25 December, –2020. –p. 98-100.

18. Balayeva, O.O. Sink oksid və qarışıq oksid (ZnO və $Zn_6Al_2O_9$) / PVS nanokompozitinin Pb^{2+} ionlarının sorbsiyasına tətbiqi / O.O.Balayeva, A.Ə.Əzizov, M.B.Muradov [və b.] // Bakı Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, Azərbaycan – 2021.1, – p. 25-32.

19. Abdullayeva, G.X., Azizov, A.A., Balayeva, O.O., Buniyatzade, I.A. [et al.] Adsorption and photodegradation of orange g dye by CoAl LDH /PVA and copper doped coal ldh/pva nanocomposites under visible light // 7th International Conference

MTP – 2021: Modern Trends in Physics, -Baku: -15-17 December, – 2021. 2, –p. 119-121.

20. Paşayev N.V., Əzizov, A.Ə., Balayeva, O.O., R.M.Alosmanov. BNK/seolit funksional kompoziti ilə metal ionlarının məhluldan sorbsiyasının öyrənilməsi // V international scientific conference of young researchers Baku Engineering University, -Baku: -29-30 April, – 2021. –p. 1036-1038.

21. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Alosmanov, R.M., Bünyatzadə İ.A. CoAl-layli ikili hidrokisidlər pvs nanokompozitinin sintezi // V International Scientific Conference of Young Researchers. Baku Engineering University, -Baku: -29-30 April, – 2021. –p. 1039-1040.

22. Balayeva, O.O., Azizov, A.A., Muradov, M.B., Alosmanov, R.M. Synthesis of ZnAl-layered double hydroxide by different reaction parameters // VIII International Scientific Conference «The Chemistry of Coordination Compounds» dedicated to the 85th anniversary of the Department of Analytical Chemist, -Baku: -22-23 December, – 2021. –p. 293-295.

23. Balayeva, O.O., Azizov A.A., Muradov M.B., Alosmanov R.M. Removal of tartrazine from aqueous solution by ZnAl-LDH/PVA nanocomposite // 1st international congress on natural sciences (ICNAS-2021)”, -Erzurum: -10-12 September, – 2021. –p. 176.

24. Paşayev, N.V., Əzizov, A.Ə., Balayeva, O.O. Butadien nitril kauçukunun seolitlə funksional kompozitinin yuyulması və alınan maddənin iştiraki ilə metal ionlarının sorbsiyasının öyrənilməsi // Ümummilli Lider HEYDƏR ƏLİYEVİN anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: -25-26 May, – 2021. –s. 96-97.

25. Алиев, О.И., Балаева, О.О., Азизов, А.А. Исследование адсорбции тартразина на нанокompозите ZnAl-СДГ/ ПБС // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: -25-26 May, – 2021, –s. 97-98.

26. Abdullayeva G.X., Balayeva, O.O., Əzizov A.Ə. CoAl əsaslı layli ikili hidrokisidlərin kationit və anionit xassələrinin öyrənilməsi //

Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: -25-26 May – 2021. –s. 109-110.

27. Abdullayeva, G.X., Əzizov, A.Ə., Balayeva, O.O. CoAl-layli ikili hidrokisidlər PVS nanokompozitinin sintezi // V International Scientific Conference of Young Researchers. Baku Engineering University, -Baku: -29-30 April, – 2021. –s. 1039-1040.

28. Məmmədova, S.F., Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B. Ni_{0.2}Zn_{0.8}S nanohissəciklərinin layli ikili hidrokisidlər əsasında alınması // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistrant və gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı: -25-26 May, – 2021. –s. 86-88.

29. İmaməliyeva, N.N., Balayeva, O.O., Əzizov A.Ə., Muradov M.B. Mis kadmium sulfid (CuCdS₂) nanohissəciklərinin funksionallaşdırılmış nitril kauçuku əsasında alınması // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistrant və gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı, -25-26 May – 2021. –s. 91-93.

30. Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Muradov, M.B., Mammadova, S.F. Controllable synthesis of Ni_xZn_{1-x}S nanoparticles on the base of NiZnAl Layered Double Hydroxide/PVA composite matrix // 2nd International Conference on Light and Light-based Technologies (ICLLT), -Ankara: -26– 28 May –2021. –p. 119.

31. Balayeva, O.O. Adsorption and photodegradation of quinoline Yellow, ponceau 4R and brilliant blue FCF onto ZnAl LDH – LDO / PVA nanocomposite // Georgian Technical University 6th International Conference “Nanotechnology” GTU nano 2021 In memory of Prof. Alex Gerasimov, -Tbilisi: - 4-7 October – 2021. – p.11-12.

32. Balayeva, O.O., Azizov, A.A. ZnAl-LDH/PVA nanocomposite for efficient photocatalytic degradation of ponceau 4r // 1st International symposium on recent advances in fundamental

and applied sciences. Atatürk University Faculty of Science, - Erzurum: -10-12 September, -2021. -p. 182.

33. Balayeva, O.O. Synthesis and characterization of zinc-aluminum based layered double hydroxide and oxide nanomaterials by performing different experimental parameters. Journal of Dispersion Science and Technology, United States -2022. 43(8), -p.1187-1196. **Web of Science**.

34. Balayeva, O.O. Removal of tartrazine, ponceau 4R and patent blue V hazardous food dyes from aqueous solutions with ZnAl-LDH/PVA nanocomposite / O.O.Balayeva, A.A. Azizov, M.B. Muradov. // Journal of Dispersion Science and Technology, -2022. 1, -p. 1-14. **Web of Science**.

35. Balayeva, O.O. Photocatalytic degradation of Ponceau 4R by ZnAl-layered double hydroxide nanostructures obtained with and without polyvinyl alcohol. Journal of the Chinese Chemical Society, -2022. 1, -p. 1594-1607. **Web of Science**.

36. Gahramanli, L. Structural, Optical, and Electric Properties of $Cd_xZn_{1-x}S$ Nanomaterials by Sonochemical and Silar Methods / L.Gahramanli, O.O. Balayeva, M.Muradov//Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, -2022.-p. 3395-3406.**Web of Science**.

37. Gahramanli, L.The impact of electrolyte solution concentrations on the optical characteristics of CdS nanoparticles / M. Muradov, O.O.Balayeva [et al.] // International Journal of Modern Physics B, Singapore -2022, -p. 2350103. **Scopus**.

38. Balayeva, O.O. Synthesis, properties and practical applications of doped and undoped, zinc-containing layered double hydroxides—A Brief Review. NNC RK Bulletin, Kazakhstan-2022. 3, -p. 45-55 **CrossRef**.

39. Balayeva, O.O. Sink-alüminium layli ikili hidrokisidlərin polivinil spirti ilə nanokompozitlərinin hazırlanması Bakı Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, Azərbaycan -2022. 3, -p. 26-33.

40. Balayeva, O.O. Synthesis of different metal doped ZnAl-LDH/PVA nanocomposites for adsorption and photocatalytic

application. NNC RK Bulletin, Kazakhstan –2022. 4, –p. 63-73
CrossRef.

41. Balayeva, O.O. Kobalt alüminium layli ikili hidrokسيد / polivinil spirti nanokompoziti ilə Narinc G boyaq maddəsinin sulu məhlullardan adsorbsiyasi və fotokatalitik parçalanması / G.X.Abdullayeva, A.Ə.Əzizov, O.O.Balayeva // Bakı Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, –2022. №4, –s. 5-11.

42. Balayeva, O.O., Azizov, A.A., Muradov, M.B., Alosmanov, R.M. ZnAl-LDH nanocomposite obtained with and without PVA // International Health, Engineering and Sciences Congress. Ankara, 7-8 May - 2022. –p. 161-162.

43. Balayeva, O.O. Synthesis and photocatalytic performance of ZnAl-LDH/PVA Nanocomposite // Mediterranean International Conference on Research in Applied Sciences, -Antalya: - 22-24 April, – 2022. –p. 482.

44. Mustafayeva, N., Balayeva, O.O., Əzizov A.Ə., Alosmanov R.M. Modifikasiya olunmuş ZnAl əsaslı layli ikili hidrokسيدlər üzərində ponso 4r boyaq maddəsinin sulu məhlullardan fotokatalitik parçalanması // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci, gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: -18-19 May, – 2022.418.

45. Yəhyayeva, Q.Y. Balayeva, O.O. CdZnAl LİH polimer kompozitinin fotokatalitik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, - Bakı: -18-19 May, – 2022. –p. 419.

46. Abdullayeva, G.X., Əzizov, A.Ə., Balayeva, O.O., Buniatzadə, İ.A. CoAl LİH-lərin PVS-də nanokompoziti ilə narinc g boyaq maddəsinin sulu məhlullardan sorbsiyasi və fotokatalitik deqradasiyasi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı: -18-19 May – 2022. –p. 441-442.

47. İmaməliyeva, N.N., Balayeva, O.O., Əzizov, A.Ə., Alosmanov, R.M. FNK əsasında sintez olunmuş mis kadmium sulfid

nanohissəciklərinin fotokatalitik aktivliyinin öyrənilməsi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Kimyanın Aktual Problemləri» XIV Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı: -18-19 May, – 2022.-p. 445.

48. Balayeva, O.O., Azizov, A.A., Muradov, M. B., Alosmanov, R.M. ZnAl-ldh nanocomposite obtained with and without PVA // I International Health, Engineering And Sciences Congress, -Ankara:, -7-8 May – 2022. –p. 161-162.

49. Balayeva, O.O., A. A.Azizov, M. B.Muradov, R. M.Alosmanov [et al.], Adsorption of patent blue v food dye by ZnAl-LDH/PVA nanocomposite // II International Health, Engineering and Sciences Conference, - Kayseri: -19-21 August, – 2022. –p. 108-109.

50. Balayeva, O.O., N.N. İmamaliyeva, A.A. Azizov, M.B. Muradov [et al.] Synthesize of copper cadmium sulphide (CuCdS_2) nanoparticles on the basis of functionalized nitrile butadiene rubber by SILAR method // 7 th International Conference MTP–2021: Modern Trends in Physics. -Baku: -15-17 December, – 2021. –p. 84-85.

51. Balayeva, O.O., N.N. Imamaliyeva, A.A. AzizovM. B. Muradov [et al.], SILAR Synthesis of CuCdS_2 Nanostructures for Photocatalytic Applications // 9th International Conference on Materials Science and Nanotechnology for Next Generation Gazi University, -Ankara: -22 - 24 September, – 2022. –p. 123.

52. Balayeva, O.O., Azizov, A.A., Muradov, M. B., Alosmanov, R. M. [et al.], Synthesis of ZnAl-layered double hydroxide / polyvinyl alcohol for photocatalytic degradation of ponceau 4R // International Conference: Modern Problems of Theoretical & Experimental Chemistry, Baku: - 29 - 30 September,– 2022. –p. 269.

53. Yahyayeva, G.Y., Balayeva, O.O., Hashimova S.C.. Investigation of adsorption and photodegradation properties of CdZnAl LDH / polymer nanocomposite // IV International Health , Engineering and Sciences Congress. Eskisehir, Turkiye 17-19 December – 2022. –p. 94.

54. Yahyayeva, G.Y., Balayeva, O.O. The investigation of the photodegradation of m-cresol on CdZnS and CdZnAl LDH / polymer nanocomposite // V International Health, Engineering and Sciences Congress, -Ankara: -19-21 March, -2022. -p. 207.

55. Balayeva, O.O. Synthesis of ZnAl-LDH/PVA nanocomposite and adsorption of patent blue v food dye from water solution / O.O.Balayeva A.A.Azizov, M.B.Muradov [et al.] // Azerbaijan Chemical Journal № 1 -2023. -p. 64-74 **Scopus**

56. Balayeva, O.O., Noncovalent doping of fullerene (C₆₀) into ZnAl-LDH/PVA matrix and photocatalytic degradation of methylene blue and congo red from water / O.O.Balayeva, A.A.Azizov, M.B. Muradov [et al.] // Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 2023, p.1-20. **Web of Science**.

57. Balayeva, O.O. Fullerene (C₆₀)-doped zinc-aluminium layered double hydroxide/polyvinyl alcohol nanocomposites: Synthesis, characterization, and photodegradation of methylene blue from water solution / O.O.Balayeva, A.A.Azizov, T. Sh Israfilli // Journal of the Chinese Chemical Society. 2023. 1-14. **Web of Science**.

58. Balayeva, O.O. Preparation of fullerene – modified zinc – containing layered double hydroxide – polymer nanocomposites for photocatalytic applications / O.O.Balayeva, T.Sh.Israfilli // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların « Kimya və kimya Texnologiyası» II Respublika Elmi Konfransı, –Bakı: -04,05 may, – 2023.

59. Yahyayeva Q.Y. CdZnS və CdZnAl-LİH/polimer nanokompo-zitinin sintezi və fotokatalitik aktivliyinin öyrənilməsi / Q.Y.Yahyayeva, O.O.Balayeva // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistrant və gənc tədqiqatçıların «Kimya və kimya texnologiyası» II Respublika Elmi Konfransı, –Bakı: -04,05 may, –2023.

60. Haşımova, S.C., Balayeva, O.O. Əzizov, A.Ə., Zn-Al layli ikili hidrokسيد əsasli kompozitlərdə metilen göyü, rodamin 6g, kristal bənövşəyi, brilyant yaşili boyaq maddələrinin sorbsiyasinin tədqiqi /

Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların « Kimya və kimya texnologiyası » II Respublika Elmi Konfransı, –Bakı: -04,05 may, –2023.

61. Yahyayeva, Q.Y. Balayeva, O.O. CdZnS və CdZnAl-LiH/PVS nanokompozitinin sintezi və metilen göyü boyaq maddəsinin fotokatalitik parçalanmasının öyrənilməsi /Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş «Kimya və kimya texnologiyası » II Respublika Elmi Konfransı, –Bakı: -04,05 may, –2023.

62. Balayeva, O.O. Synthesis, structural and optical characterization of $Cd_xZn_{1-x}S$ /FNBR nanocomposites / O.O.Balayeva, A.A. Azizov, M.B. Muradov [et al.] // Chemistry Select. 2024, p.1-17. **Web of Science.**

63. Balayeva, O.O. Synthesis and characterization of $Cu_xCd_{1-x}S$ nanocrystals into functionalized nitrile butadiene rubber matrix / O.O.Balayeva, A.A. Azizov, M.B. Muradov, [et al.] // Journal of the Chinese Chemical Society. 2024, p.1-15. **Web of Science.**

İXTİSARLAR

AS (ACTB) - Üçəsaslı ammonium sitrat

BET - Brunauer-Emmet-Teller

BNK - Butadien nitril kauçuku

E_g - qadağan olunmuş zonanın eni

EPR - Elektron paramaqnit rezonans

FL - Fotolüminessensiya

FNK –Fosfoxlorlaşmış (funksionallaşmış) nitril kauçuku

ICP-OES - Optiki emission spektroskopiya

İQ - İnfraqırmızı spektroskopiya

İPS - İzopropil spirti

RD –Rentgen difaktometri

JCPDS – RD üçün standart

KQ - Konqo qırmızısı

LİH- Laylı ikili hidröksidlər və ya laylı ikiqat hidröksidlər

MA - Metilen abısı

NaSt - Natrium stearat

$O_2^{\cdot-}$ - Superoksid anionu
PA-V - Patent abısı V
PVS - Poli vinil spirti
R6G - Rodamin 6G
RD - Rentgen difraktometri
SD% - Sorbsiya dərəcəsi
FD%-Fotodeqradasiya dərəcəsi
SEM - Skanedici elektron mikroskopu
SİLAR - İon qatının ardıcıl adsorbsiya və reaksiyası
ST - Sorbsiya tutumu
St - Stearin turşusu
UB - Ultrabənövşəyi spektroskopiya
VDM - vahid deformasiya modeli,
D-R – Dubinin-Raduşkeviç

Dissertasiyanın müdafiəsi 21 İyun 2024-cü il tarixində saat 11:00-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.16 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Azərbaycan Respublikası, AZ 1148, Bakı şəhəri, akad. Z.Xəlilov küçəsi 23, Əsas bina.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir (bsu.edu.az).

Avtoreferat "20" May 2024-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 14.05.2024
Kağızın formatı: A5 (60×90 1/16)
Həcm: 78521 işarə
Tiraj: 100 nüsxə