AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

DƏMİRİN (III) YENİ QATILAŞDIRMA METODİKALARININ İŞLƏNİLMƏSİ VƏ ANALİTİK TƏTBİQİ

İxtisas: 2301.01 – "Analitik kimya"

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Esmira Cəlil qızı Eyyubova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2026

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Analitik kimya kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: kimya elmləri doktoru, professor
Famil Musa oğlu Çıraqov

kimya elmləri doktoru, professor
Xəlil Camal oğlu Nağıyev

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Tofiq Abbasəli oğlu Əliyev

kimya elmləri doktoru, professor
Nailə Allahverdi qızı Verdizadə

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Aydın Məhəmməd oğlu Paşacanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.16 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:
kimya elmləri doktoru, dosent
Fuad Şəmsəddin oğlu Kərimli

Dissertasiya şurasının elmi katibi:
kimya üzrə fəlsəfə doktoru
Firdan Nərman qızı Bəhmənova

Elmi seminarın sədri:
kimya elmləri doktoru, professor
Əli Zaur oğlu Zalov

BAKI DÖVLƏT UNİVERSİTETİ
ELMİ KATİB
SCIENTIFIC SECRETARY
"07" 10 2026

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müxtəlif mənşəli çirkləndiricilərin təbii obyektlərdən və texnogen sistemlərdən təmizlənməsinin müasir texnologiyaları, bir qayda olaraq, yüksək maddi sərfiyyat, əhəmiyyətli enerji sərfi və sonradan toksik tullantıların utilizasiya edilməsinin zəruriliyi ilə xarakterizə olunur. Ona görə də, çirkləndiricilərin ayrılmasına və təyininə imkan verən effektiv, seçici, iqtisadi cəhətdən əlverişli və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz metodikaların işlənib hazırlanması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bir çox hallarda komponentlərin miqdarı kifayət qədər az olur, bu da onların mövcud analitik üsullarla birbaşa təyin edilməsini çətinləşdirir. Məhz buna görə də, analizin həssaslığını artırmağa və mürəkkəb çoxkomponentli sistemlərin tədqiqi zamanı nəticələrin etibarlılığını təmin etməyə imkan verən qatılaşdırma üsulları xüsusi əhəmiyyət kəsb edir[1]. Çoxsaylı qatılaşdırma üsulları arasında yüksək səmərəliliyi, həyata keçirilməsinin nisbətən sadəliyi və müxtəlif instrumental analiz metodları ilə təyinat zamanı istifadə olunan sorbsiya və ekstraksiya üsulları geniş tətbiq olunur[2].

Texnoloji baxımdan sadəliyi, təhlükəsizliyi və iqtisadi səmərəliliyi sayəsində sorbsiya üsulları ətraf mühitin mühafizəsi, analitik kimya və sənaye ekologiyası üçün xüsusi maraq doğurur. Son illərdə sorbsiya üsullarından müxtəlif obyektlərdən, o cümlədən su nümunələrindən metal ionlarının və digər çirkləndiricilərin ayrılması üçün geniş istifadə olunur. Sorbsiyanın perspektivliyi sorbentin məsaməli qurulu-

[1]Opara, I.J., Ukoha, P.O., Onunze, E.O. Extractive spectrophotometric determination of Fe(III) and Co(II) from steel sample using azo ligand 1,5-dimethyl-2-phenyl-4-[(E)-(2,3,4-trihydroxylphenyl)diazenyl]-1,2-dihydro-3H-pyrazole-3-one // International Journal of Chemical, Material and Environmental Research, - 2018, v. 5, № 1, - p. 148-154.

[2]Didukh, S.L., Muhina, A.N., Losev, V.N. Sorption-photometric determination of iron(II) in drinking waters using titanium dioxide based sorbents modified with polihexamethylene guanidine ferrozine or ferene // Chemistry, - 2015, № 8, - p. 35-44.

şu, kimyəvi təbiəti və aktiv funksional qruplarının sayı kimi parametrlərin məcmusu ilə müəyyən edilir. Bununla əlaqədar olaraq, müxtəlif sorbentlər, o cümlədən təbii gillər, aktivləşdirilmiş kömür, karbon molekulyarələkləri, biokütlələr və kənd təsərrüfatı tullantıları, həmçinin kommersiya materialları — aktivləşdirilmiş alüminium oksid, iondəyişdirici polimer qatranlar və seolitlər tətbiq olunmuşdur.

Müxtəlif təbii və sənaye nümunələrində metal ionlarının, o cümlədən dəmirin (III) kiçik miqdarlarının təyini xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Fe(III)-in təyini üçün geniş spektrli analitik üsullar işlənib hazırlanmışdır ki, bunların arasında da yüksək həssaslığa, seçiciliyə və təkrarlığa malik olması hesabına ekstraksiyalı qatılaşdırma üsulları xüsusi yer tutur.

Bütün bunlar çirkləndiricilərin yüksək effektivliklə ayrılmasının dəmirin (III) selektiv və dəqiq təyin edilməsi imkanı ilə birləşdirən yeni metodikaların işlənib hazırlanmasının ekoloji təhlükəsizlik, analitik kimya və sənaye monitorinqi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edən perspektivli elmi tədqiqat istiqaməti olduğunu göstərir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Dissertasiyanın əsas tədqiqat obyekti tərkibində az miqdarda dəmir (III) ionları olan mürəkkəb obyektlərdir. Tədqiqatın predmeti dəmirin (III) sorbsiya və ekstraksiya üsulları ilə qatılaşdırılmasının yeni metodikalarının işlənib hazırlanması, Fe(III) ionlarının sintez edilmiş sorbentlərlə sorbsiyasının və sintez edilmiş liqandlarla kompleks əmələ gətirməsinin tədqiq edilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi müxtəlif mənşəli obyektlərdə dəmirin (III) kiçik miqdarının təyin edilməsi üçün yeni qatılaşdırma metodikalarının işlənib hazırlanmasından ibarətdir.

Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

– Malein anhidridi-stirol sopolimeri əsasında sorbentlər sintez edilmiş, bəzi sorbentlərin müvafiq reaktivlə modifikasiyası aparılmış, sorbentlərin tərkibi və temperatura davamlılığı öyrənilmişdir;

– Alınmış sorbentlərin dəmir (III) ionları ilə sorbsiyası və onlardan desorbsiyası proseslərinin əsas parametrləri öyrənilmişdir;

– İki yeni reaktiv sintez edilmiş, onların monokristalları alınmış, tərkibi, quruluşu və kristal qəfəsinin əsas parametrləri müəyyən edilmişdir;

– Dəmirin (III) ekstraksiya yolu ilə qatılaşdırma metodikası işlənib hazırlanmış və ekstraksiyanın əsas parametrləri müəyyən edilmişdir;

– İşlənib hazırlanmış metodikalardan müxtəlif tərkibli mürəkkəb obyektlərdə dəmirin (III) miqdarının təyin edilməsi üçün istifadə edilmişdir.

Tədqiqat metodları. Qarşıya qoyulmuş məsələlərin yerinə yetirilməsi üçün dissertasiya işində İQ-, UB- və görünən spektroskopiya, termiki analiz, RQA və SEM/EDS metodlarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Malein anhidridi stirol sopolimeri əsasında alınmış S_1–S_9 sintetik sorbentlərindən, həmçinin əvvəlcədən reaktivlə modifikasiya edilmiş S_{10} və S_{11} sorbentlərindən istifadə etməklə Fe(III)-in qatılaşdırılmasının effektiv metodikaları işlənib hazırlanmışdır. Sorbsiya proseslərinin kompleks analizi aparılmış: sorbsiyanın kinetikası, tarazlığı və kənar ionların sorbsiya prosesinə təsiri öyrənilmiş, həmçinin Lenqmür, Freyndlix və Dubinin–Raduşkeviç modellərinin tətbiqinin mümkünlüyü araşdırılmışdır. Yeni reaktivlər (R_3 və R_4) sintez edilmiş və onların rentgen quruluş analizi (RQA) üsulu ilə quruluşu tədqiq edilmişdir. R_1, R_3 və R_4 reaktivlərindən istifadə etməklə Fe(III)-in təyini üçün ekstraksiyalı fotometrik analiz metodikası işlənib hazırlanmışdır. Metodikalar real obyektlərdə uğurla sınaqdan keçirilmiş və nəticələrin dəqiqliyi ICP-OES spektroskopiya metodu ilə təsdiq edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dəmirin (III) yeni qatılaşdırma metodikaları işlənib hazırlanmış və optimallaşdırılmışdır. Yeni sorbentlər sintez edilmiş, sonradan müvafiq reaktivlə modifikasiya edilmişdir. Sorbentlərin tərkibi və sorbsiyanın əsas parametrləri müxtəlif analiz üsulları ilə tədqiq edilmişdir. Yeni reaktivlər sintez edilmiş və onların monokristalları alınmışdır. Kristal qəfəsinin əsas parametrlərinin müəyyən edilməsi üçün rentgen quruluş analiz metodundan istifadə edilmişdir. Alınmış reaktivlər dəmirin (III) ekstraksiya üsulu ilə qatılaşdırılmasında tətbiq edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti. İş praktiki analitik kimyanın inkişafına töhfə verir, Fe(III)-in sorbsiya və ekstraksiya üsulu ilə qatılaşdırılması haqqında bilikləri genişləndirir. Tədqiqatın nəticələri sorbsiya və ekstraksiya üsulu ilə dəmir (III) ionlarının təyini üçün yeni metodikaların işlənib hazırlanmasına nəzəri yanaşmaların təkmilləşdirilməsinə imkan verir. İşlənib hazırlanmış metodikalar Fe(III) ilə çirklənmiş suların monitorinqi və təmizlənməsi üçün tətbiq oluna bilər ki, bu da ekoloji təhlükəsizliyin təmin edilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Əldə edilmiş məlumatlar sənayenin müxtəlif sahələrində, o cümlədən ekoloji nəzarət, təbii ehtiyatların emalı və kənd təsərrüfatı məhsullarının analizi sahələrində tətbiq oluna bilər. Effektiv sorbentlərin və ekstraksiya üçün reaktivlərin sintezi analitik laboratoriyalarda və sənaye proseslərində yeni tətbiq imkanları yaradır. İşin nəticələrindən mürəkkəb obyektlərdə Fe(III)-in qatılaşdırılması və ayrılması üçün iqtisadi cəhətdən səmərəli və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz texnologiyaların yaradılmasında istifadə edilə bilər.

İşin aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya mövzusu üzrə 9 məqalə və 23 tezis dərc olunmuşdur. Dissertasiya materialları aşağıdakı konfranslarda təqdim olunmuş və müzakirə edilmişdir:

– Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları (Bakı, 2018);

– 1-ci Beynəlxalq Elm və Mühəndislik Konfransı (Bakı, 2018);

– Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 2019);

– Kimya, Kimya Texnologiyası və Ekologiya: Elm, İstehsalat, Təhsil. Beynəlxalq elmi-praktik konfrans və gənc alimlər məktəbinin məruzələrinin tezisləri (Mahaçqala, 2018);

– Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XIII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları (Bakı, 2019);

– Beynəlxalq iştirakla ətraf mühit obyektlərinin təhlili üzrə XI

Ümumrusiya "Ekoanalitika-2019" Konfransı (Perm, 2019);

– Akademik Givi Tsintsadzenin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş "Kimya: Nailiyyətlər və Perspektivlər" adlı beynəlxalq elmi-metodiki konfrans (Tbilisi, 2019);

– Fundamental və Tətbiqi Elmlərdə Son İrəliləyişlər üzrə 1-ci Beynəlxalq Simpozium (ISFAS-2021) (Türkiyə, 2021);

– 6-cı Beynəlxalq Türk Dünyası Kimya Elmləri və Texnologiyaları Konfransı (ITWCCST) (Bakı, 2022);

– Akademik Rəfiqə Əliyevanın 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Konfrans: Nəzəri və Eksperimental Kimyanın Müasir Problemləri (Bakı, 2022);

– "Neft kimyası və kimya texnologiyasında müasir yanaşmalar" mövzusunda Respublika elmi konfransının materialları (Bakı, 2023);

– Akademik Givi Tsintsadzenin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş "Kimya - nailiyyətlər və perspektivlər" adlı beynəlxalq elmi konfrans (Tbilisi, 2023);

– Beynəlxalq konfrans: Fizikada müasir tendensiyalar (Bakı, 2023);

– XX Beynəlxalq Konfrans. Koordinasion Birləşmələrinin Spektroskopiyası (Kuban, 2024);

– Kimya Elmi və Təhsili: Problemlər və İnkişaf Perspektivləri. Beynəlxalq konfransının elmi məqalələr toplusu (Mahaçqala, 2024);

– VSUIT müəllim və elmi işçilərinin 2023-cü il üçün LXII hesabat elmi konfransının materialları (Voronej, 2024);

– Analitik Kimya üzrə Kiyev Konfransı: Müasir Trendlər (Kiyev, 2024);

– Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 102 illiyinə həsr olunmuş Dördüncü Sənaye İnqilabı Dövründə Elm və Texnologiyaların Mövcud Vəziyyəti və İnkişaf Perspektivləri Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransının materialları (Bakı, 2025);

– Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 102 illiyinə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların Kimya və Kimya texnologiyası mövzusunda IV Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 2025);

– MacroFrontiers 2025: Makromolekulyar birləşmələr üzrə 3-cü beynəlxalq elmi konfrans (Bakı, 2025);

– Akademik Yusif Məmmədəliyevin 120 illik yubileyinə həsr olunmuş 2-ci Beynəlxalq konfrans. Nəzəri və eksperimental kimyanın müasir problemləri (Bakı, 2025).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Kimya fakültəsinin "Analitik kimya" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Aparılan tədqiqatlarda iddiaçının şəxsi töhfəsi. İddiaçı tədqiqat işinin yerinə yetirilməsində bilavasitə iştirak etmişdir. O, mövzuya aid ən son ədəbiyyat məlumatlarını toplamış və təhlil etmiş, ümumiləşdirmələr aparmış, sorbentlər və yeni reagentlər sintez etmişdir. Alınmış birləşmələri dəmir (III) ionlarının kiçik miqdarlarının təyini üçün tətbiq etmişdir. Tədqiqat işinə aid məqalələrində öz mülahizələrini irəli sürmüşdür.

Dissertasiyanın həcmi və quruluşu. Dissertasiya giriş, beş fəsil, nəticələr və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Ədəbiyyat siyahısında 153 mənbəyə istinad edilir. Dissertasiya A4 formatında yazılıb və 191 səhifədən ibarətdir. Dissertasiyanın əsas hissəsi 206462 işarədən ibarətdir (boşluqlar, şəkillər, cədvəllər və ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla). Dissertasiyaya 30 şəkil və 42 cədvəl daxildir.

Birinci fəsil (49225 işarə) Fe(III)-in sorbsiya və ekstraksiya üsulları ilə qatılaşdırılması və təyin edilməsinin müasir üsullarına, həmçinin istifadə olunan sorbentlərin, reagentlərin xarakteristikalarına və təsir mexanizmlərinə həsr olunmuş icmalı təqdim edir.

İkinci fəsil (64628 işarə) işin eksperimental hissəsini təşkil edir və məhlulların və reaktivlərin hazırlanmasını, reaktivlərin və sorbentlərin sintezini və identifikasiyasını, həmçinin onların Fe(III) ilə qarşılıqlı təsirinin tədqiqi də daxil olmaqla, fiziki-kimyəvi və sorbsiya xarakteristikalarının öyrənilməsini əhatə edir.

Üçüncü fəsil (56913 işarə) sintez edilmiş sorbentlərlə Fe(III) ionlarının sorbsiyasının tədqiqinin nəticələrini təqdim edir. Burada sorbsiya prosesinin izotermləri, kinetikası və enerji xarakteristikaları öyrənilmişdir.

Dördüncü fəsil (20247 işarə) R_1, R_3 və R_4 üzvi reaktivlərindən istifadə etməklə Fe(III)-in ekstraksiya yolu ilə qatılaşdırılması və spektrofotometrik təyininin tədqiqinə, həmçinin ekstraksiya və kompleksəmələgəlmə şəraitinin optimallaşdırılmasına həsr olunmuşdur.

Beşinci fəsil (22345 işarə) işlənib hazırlanmış metodikaların mürəkkəb obyektlərdə Fe(III)-in miqdarının təyin edilməsində tətbiqini təqdim edir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Reagentlərin və komplekslərin sintezi

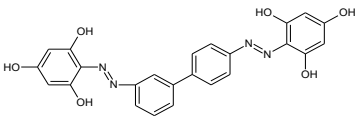
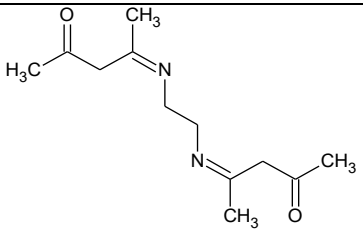
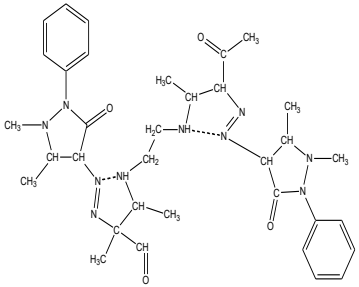
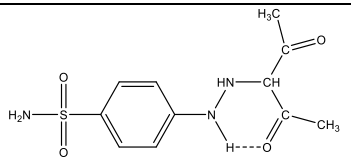
İşdə aşağıdakı üzvi reagentlərdən istifadə edilmişdir: 2,2`-1([1,1`-difenil]-4,4`-diilbis(diazin-2,1-diil)bis(benzol-1,3,5-triol) (R_1), 4,4'-(etan-1,2-diilbis(azaniliden))bis(pentan-2-on) (R_2), 4-((E)-(2-((2-((1R)-2-(1,5-dimetil-3-okso-2-fenil pirazolidin-4-il)-4,4,5-trimetil-4, 4-((E)-(2-((2-((1R)-2-(1,5-dimetil-3-okso-2-fenilpirazolidin-4-il)-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-1H-1$^{\lambda}$4,2$^{\lambda}$4,3-triazol-1-il)etil)amino)-4-oksopentan-3-il)diazenil)-1,5-dimetil-2-fenilpirazolidin-3-on (R_3) və 4-[2-(2,4-dioksipentan-3-il)hidrazinil]benzensulfonamid (R_4). Reagentlərin adları, struktur formulları və nisbi molekulyar kütlələri Cədvəl 1-də göstərilmişdir.

R_1-R_4 reagentlərinin sintezi məlum metodika üzrə aparılmışdır.

4-((E)-(2-((2-((1R)-2-(1,5-dimetil-3-okso-2-fenilpirazolidin-4-il)-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-1H-1$^{\lambda}$4,2$^{\lambda}$4,3-triazol-1-il)etil)amino)-4-oksopentan-3-il)diazenil)-1,5-dimetil-2-fenilpirazolidin-3-on R_3 reagenti ilə Fe (III)-ün kompleksi sintez edilmişdir.

Reagentlər Bakı Dövlət Universitetinin Analitik Kimya kafedrasında sintez edilmişdir. Bütün digər reagentlər sigmaaldrich.com saytından alınmışdır. Təcrübələrdə istifadə olunan bütün reagentlər analitik təmiz idi.

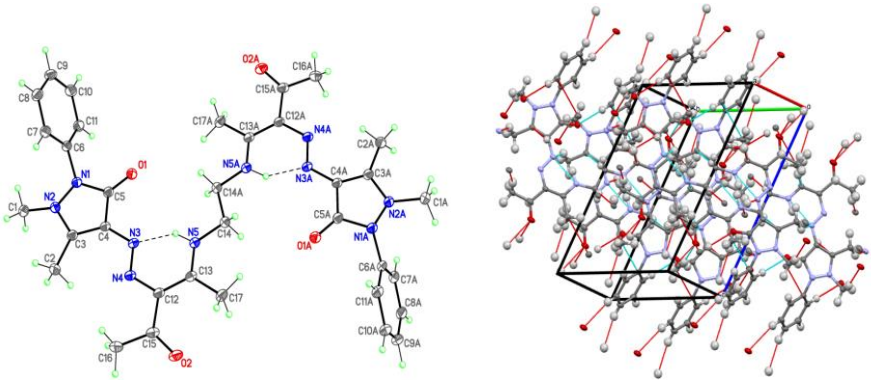
Cədvəl 1. İstifadə olunan reagentlərin adları, struktur formulları və digər xüsusiyyətləri.

Üzvi reagentin adı	Quruluş	Brutto formul və nisbi molekulyar kütlə
2,2`-1([1,1`-difenil]-4,4`-diylbis(diazin-2,1-diyl)bis(benzol-1,3,5-triol) (R_1)		$C_{24}H_{12}O_6N_4$ 458
4,4'-(etan-1,2-diylbis(azaniliden)) bis(pentan-2-on) (R_2)		$C_{12}H_{20}O_2N_2$ 224
4-((E)-(2-((2-((1R)-2-(1,5-dimetil-3-okso-2-fenilpirazolidin-4-il)-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-1H-1$^{\lambda}$4,2$^{\lambda}$4,3-triazol-1-il)etil)amino)-4-oksopentan-3-il)diazenil)-1,5-dimetil-2-fenilpirazolidin-3-on (R_3)		$C_{34}H_{40}N_{10}O_4$ 652,76
4-[2-(2,4-dioksipentan-3-il)hidrazinil]benzol sulfonamid (R_4)		$C_{11}H_{13}N_3O_4S$ 283,3

Reagentlərin və komplekslərin identifikasiyası

R_3 və R_4 liqandlarının molekulyar və kristal quruluşları Rentgen quruluş analizi ilə öyrənilmiş və kristal qəfəsinin əsas parametrləri təqdim edilmişdir.

R_3 reagentinin quruluşunun öyrənilməsi göstərir ki, birləşmənin molekulyar formulu $C_{34}H_{40}N_{10}O_4$-dür. T=100 K-də müvafiq bucaqlar: a=5,83293(7), b=10,25650(11), c=14,49887(15), α=73,3216(15)°, β=81,7835(17)°, γ=79,0740(16)°, V = 812,228(17) $Å^3$-dür. Monokristalın ölçüləri 0,2x0,21x0,27 təşkil edir. Kristalın triklinik sinqoniyaya malik olduğu aşkar edilmişdir. Fəza quruluşu P-1, z=1, $\rho_{(hes)}$=1.334 q/sm^3, μ=0,742 mm^{-1}. Difraksiya əmsalları R=0,0523(3118) və wR_2=0,1510(3420). R_3 liqandının nömrələnmiş atomlarla struktur formulu Şəkil 1(a)-da göstərilmişdir.



(a) **(b)**

Şəkil 1. (a) - R_3 liqandının molekulyar quruluşu; (b) - R_3 liqandının kristal quruluşu.

Şəkil 1(a)-dan göründüyü kimi, etilendiamin molekulları kristallaşma zamanı monokristalın tərkibinə keçmişdir. Kristal strukturundakı etilendiamin atomları aşağıdakı kimi nömrələnmişdir: N(5)-C(14)-C(14A)-N(5A). Burulma bucağı N(5)-C(14)-C(14A) 107,71(14) Å-dir.

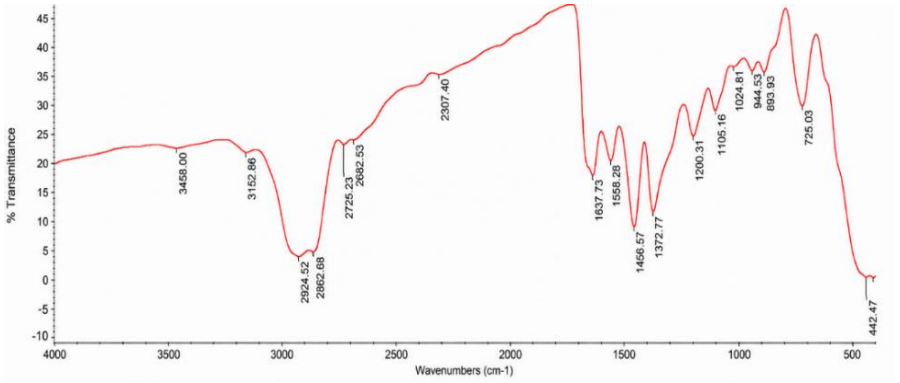
R_3 liqandının strukturunda atomlararası məsafələr aromatik və heterosiklik fraqmentlər üçün xarakterik rabitə uzunluqları ilə sabit kovalent strukturun mövcudluğunu təsdiq edir. C–C və C–N atomları arasındakı rabitələrin uzunluğu qoşulmuş və doymuş sistemlər üçün xarakterikdir ki, bu da molekulun həndəsəsində əhəmiyyətli təhriflərin olmadığını göstərir. Uzunluğu 1,23 Å olan C=O rabitələri ifadə olunmuş ikiqat rabitə xarakterinə malik karbonil qruplarının mövcudluğunu göstərir. Azot atomlarının qoşulmada iştirakı və molekulyar strukturun stabilləşməsi N–N və N–C rabitələrinin mövcudluğu ilə izah olunur. Ümumilikdə, bu parametrlər strukturun nizamlılığını təsdiq edir və sintez edilmiş üzvi birləşmələr sinfinin ehtimal olunan həndəsəsi ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir.

Şəkildən göründüyü kimi, sistemdə molekuldaxili hidrogen rabitəsi hesabına C(12), N(4), N(3), H(5), N(5), C(13) və C(12)A, N(4)A, N(3)A, H(5)A, N(5)A, C(13)A atomlarından ibarət altıüzvlü tsikllər əmələ gəlir. N(4)-C(12)-C(13)-C(17) rabitələri arasındakı torsion bucağı 173,38(13), N(3)-N(4)-C(12)-C(13) rabitələri arasındakı torsion bucağı isə 5,9(2)-dir. Torsion bucaqlarının 0°-dən fərqlənməsi C(12) və C(13) atomları ətrafında əvəzləyici qrupların sərbəst fırlanmasının mümkünlüyünü göstərir. Bu isə öz növbəsində həmin funksional qrupların metal ionları ilə koordinasiyası hesabına kompleks birləşmələrin əmələ gəlməsi imkanını yaradır.

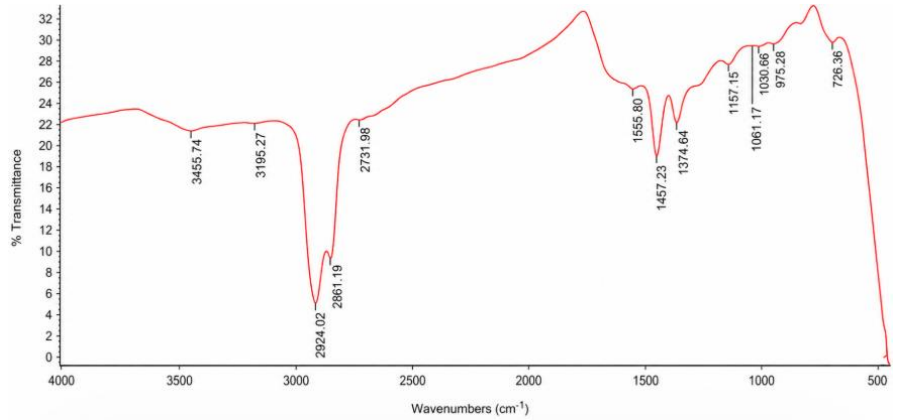
Reaktivin kristal quruluşundan (şəkil 1 (b)) göründüyü kimi, hər bir molekul digər molekullarla molekullararası rabitələr vasitəsilə əlaqələnmişdir. Bu rabitə N(3)-H(3) və N(3A)-H(3A) atomları arasında həyata keçirilir. Molekulların kristalda qablaşdırılması molekullararası hidrogen rabitələri hesabına baş verir.

R_3 üçün kristalloqrafik məlumatlar Kembric Kristalloqrafik Məlumat Mərkəzində (CCDC) 2335935 nömrəsi ilə yerləşdirilmişdir.

Dəmirin (III) R_3 liqandı ilə kompleksi sintez edilmişdir. Sintez edilmiş Fe(III)-R_3 kompleksinin quruluşu infraqırmızı spektroskopiya üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Liqandın və onun kompleksinin müvafiq İQ spektrləri şəkil 2 (a, b)-də göstərilmişdir.



(a)



(b)

Şəkil 2. İQ spektr: (a) liqand R_3; (b) Fe(III)-R_3 kompleksi

Şəkil 2 (a,b)-də təqdim olunan İQ spektrlərindən əsas zolaqların vəziyyətində və intensivliyində bir sıra əhəmiyyətli dəyişiklikləri müşahidə etmək olar ki, bu da alınmış liqandın Fe(III) ilə kompleks birləşmə əmələ gətirməsini təsdiq edir. Şəkil 2 (a)-da R_3 liqandının kompleksəmələgəlmədən əvvəlki spektrində 3000–3100 sm^{-1} sahəsində aromatik C–H rabitələrinin valent rəqslərinə uyğun tipik zolaqlar, 2850–2950 sm^{-1} sahəsində alkil C–H qruplarına aid zolaqlar, həmçinin ~1600–1650 sm^{-1} sahəsində C=N və ya C=O qruplarının rəqslərinə uyğun gələn intensiv zolaq müşahidə olunur. Spektrdə həmçinin

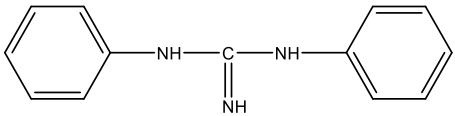
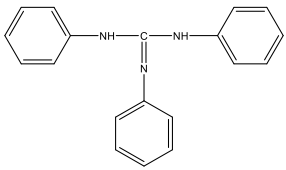
liqandın amin qrupuna xas olan N–H qrupunun 3200–3500 sm^{-1} sahəsində zolağı müşahidə edilir.

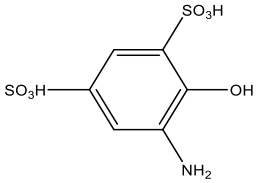
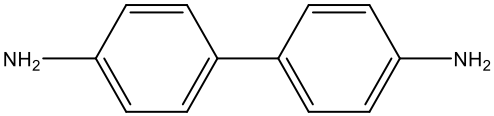
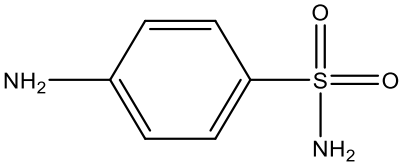
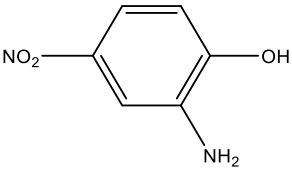
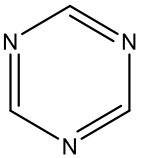
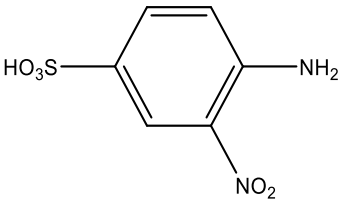
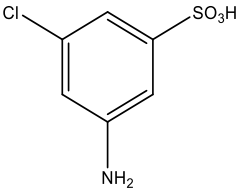
Şəkil 2 (b)-dən göründüyü kimi, Fe(III)–R_3 kompleksi əmələ gəldikdən sonra İQ-spektrdə bir sıra xarakterik yerdəyişmələr müşahidə olunur. İlk növbədə, C=N zolağı daha aşağı tezliklər sahəsinə sürüşür və intensivliyi bir qədər azalır ki, bu da həmin qrupun azot atomunun Fe(III) ionları ilə koordinasiyada iştirak etdiyini göstərir. Kompleksəmələgəlmənin ən mühüm göstəricisi 400–600 sm^{-1} sahəsində liqandın kompleks əmələ gəlməzdən əvvəlki spektrində olmayan zolaqların meydana çıxmasıdır. Bu zolaqlar Fe–N rabitəsinin valent bucaqlarının rəqslərinə uyğun gəlir və bununla da liqandın dəmir ionu ilə koordinasiyasını təsdiq edir.

Sorbentlərin sintezi

Sorbentlər məlum metodikadan istifadə edərək sintez edilmişdir. Cədvəl 2-də polimer matrisanın modifikasiyası üçün istifadə olunan amin fraqmentləri verilmişdir.

Cədvəl 2. Sopolimer makromolekuluna daxil olan amin fraqmentləri.

Sorbentin simvolu (Aminin adı)	Amin fraqmenti	Reaksiya müddəti, dəq
S_1 (N,N`-difenilquanidin)		30-35
S_2 (Trienilquanidin)		35-40

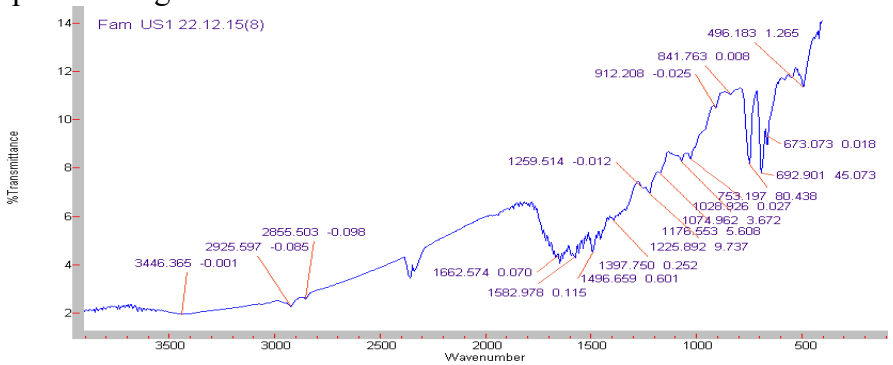
S_3 (2-amin-4,6-disulfoturşusu)		25-35
S_4 (4,4`-diaminodifenil)		32-40
S_5 (4-amin-benzolsulfonamid) (streptosit)		20-25
S_6 (2-amin-4-nitrofenol)		35-40
S_7 (1,3,5-triazin)		35-40
S_8 (2-nitro-4-sulfoanilin)		25-30
S_9 (2-amin-4-xlor-6-sulfoturşusu)		30-32

Sorbentlərin sorbsiya qabiliyyətini artırmaq məqsədilə müxtəlif reaktivlərdən istifadə etməklə sorbentlərin modifikasiyası aparılmışdır. Bu dissertasiya işində S_1 və S_8 sorbentləri R_2 reaktivi ilə modifikasiya edilmişdir. Komponentlərin seçilmiş nisbətində alınmış məhsul Fe(III)-in ekstraksiya edilməsi və onun müxtəlif təbii və sənaye mənşəli obyektlərdə mikro miqdarlarının təyin edilməsi üçün sorbent kimi istifadə edilmişdir.

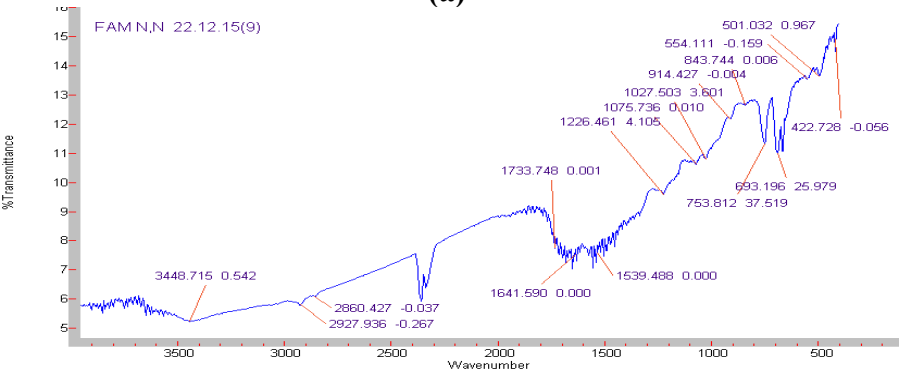
Alınmış sorbentlərin tədqiqi

Əldə edilmiş sorbentlərin quruluşunu təyin etmək üçün İnfraqırmızı spektroskopiya metodundan istifadə edilmişdir.

Şəkil 3 (a,b) sorbentin sorbsiyadan əvvəl və sonra İQ spektrlərini göstərir.



(a)



(b)

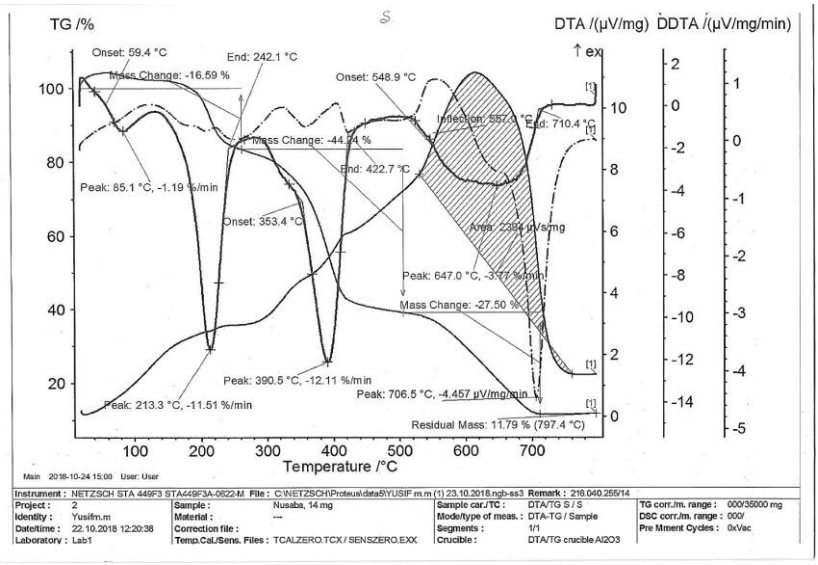
Şəkil 3. (a) S_1 sorbentinin İQ spektri; (b) S_1 sorbentinin dəmir(III) ilə kompleksinin İQ spektri.

S_1 sorbentinin İQ spektrində sorbent üçün xarakterik olan zolaqlar müşahidə olunur. Bunlar 3448 sm^{-1}-də -OH qruplarının, 1733 sm^{-1}-də karbonil C=O qrupunun rəqslərinə, 1641 sm^{-1}-də -NH amin qrupunun deformasiya rəqslərinə, 1539 sm^{-1} və 1075–1027 sm^{-1}-də benzol halqasının tərkibindəki -C-C- rabitələrinin rəqslərinə uyğun gəlir (Şəkil 3 (a)).

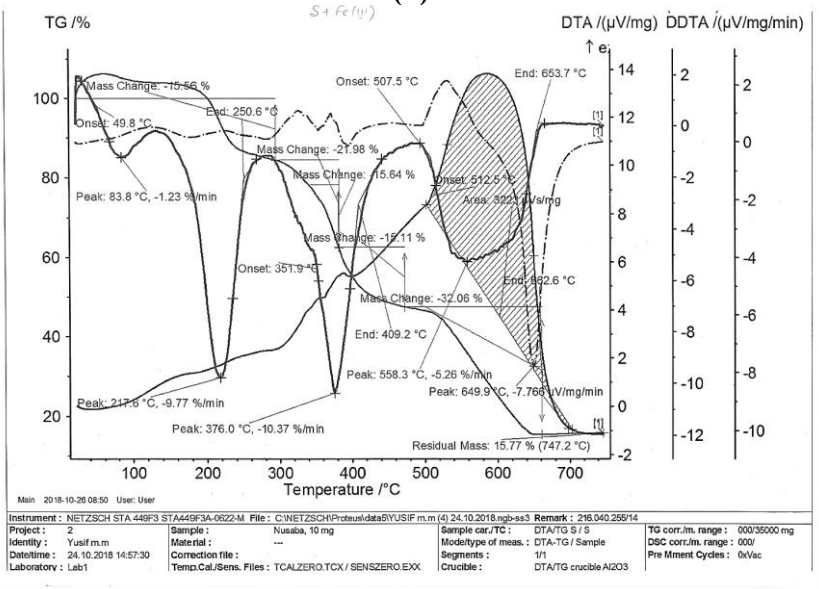
Sorbsiyadan sonra İQ spektrində aşağıdakı udulma zolaqları müşahidə olunur: 3446 sm^{-1}-də -OH qrupunun valent rəqsi, 1582 sm^{-1}-də -NH qrupunun deformasiya rəqsi, 1496 sm^{-1}-də aromatik halqadakı -C-C- rabitələrinin valent rəqsləri, 1357 sm^{-1}-də -NH qrupunun valent rabitələrinin rəqsləri, 1176–1028 sm^{-1}-də aromatik halqanın -C-C- rabitələrindəki rəqslər (Şəkil 3 (b)).

S_1 sorbentinin termoqravimetrik analiz üsulu ilə tədqiqi (Şəkil 4 (a)) göstərmişdir ki, onun termiki parçalanması bir neçə mərhələdə baş verir. TG/DTA əyriləri ayrı-ayrı məhsullar üçün 4 parçalanma mərhələsini göstərir. 59–242 °C temperatur intervalını əhatə edən birinci mərhələ təxminən 16,6% kütlə itkisi ilə xarakterizə olunur. Bu itki sorbsiya olunmuş və kristallik suyun buxarlanması, həmçinin aşağı molekullu uçucu birləşmələrin xaric olması ilə əlaqədardır.

S_1 üçün ən böyük kütlə itkisi 44,24% olmaqla 353–422 °C temperatur intervalında müşahidə olunur və DTQ pikinin maksimumu 390,5 °C-də qeydə alınır. 549–710 °C temperatur intervalında kütlə itkisi 27,5% olan ikinci parçalanma mərhələsi müşahidə olunur. Diferensial termiki analiz (DTA) əyrisində maksimumu 647 °C-də olan ekzotermik effekt müşahidə edilir. Nümunənin qalıq kütləsi 11,79% təşkil edir. Bu, termiki cəhətdən davamlı qeyri-üzvi və ya karbon tərkibli qalığın əmələ gəldiyini göstərir.



(a)



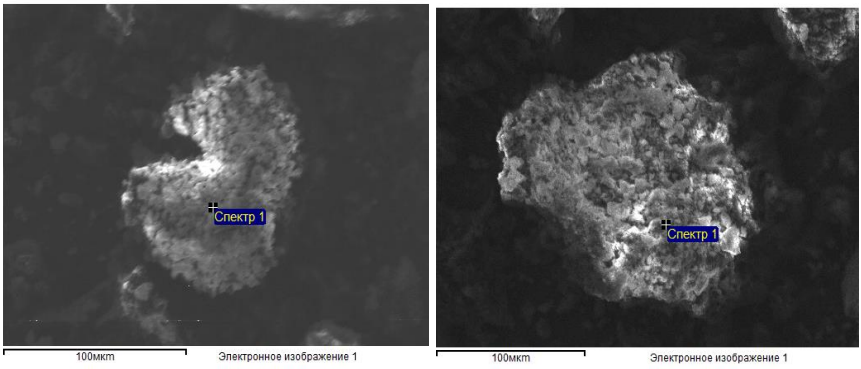
(b)

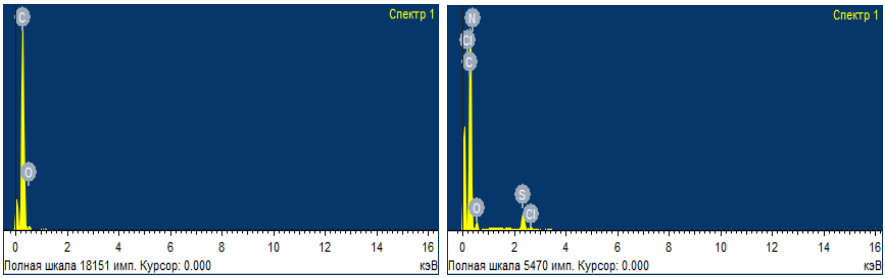
Şəkil 4. (a) - S_1 sorbentinin sorbsiyadan əvvəlki termiki analiz əyriləri; (b) - S_1 sorbentinin sorbsiyadan sonrakı termiki analiz əyriləri.

Dəmir ionlarının sorbsiyasından sonra (şəkil 4 (b)) ilkin mərhələdə, 50–251 °C temperatur intervalında, sorbsiya olunmuş nəmin desorbsiyası və uçucu komponentlərin buxarlanması ilə əlaqədar təxminən 15,6% kütlə itkisi qeydə alınır. Termiki parçalanmanın əsas mərhələsi 351–409 °C temperatur intervalında baş verir və təxminən 32,1% kütlə itkisi ilə müşayiət olunur. Bu intervalda parçalanmanın maksimal sürəti 376 °C-də əldə edilir. Yüksək temperaturlar sahəsində (508–654 °C) daha termiki davamlı struktur fraqmentlərinin sonrakı parçalanması baş verir ki, bu da əlavə kütlə itkisi və diferensial termiki analiz əyrisində maksimumu 649,9 °C-də olan ifadəli ekzotermik effektlə müşayiət olunur.

Metal ionlarının sorbsiyasından sonra S_1+Fe(III) üçün 507,5–653,7 °C temperatur intervalında ən böyük kütlə itkisi 32,6% təşkil edir və DTQ piki 558,3 °C-də müşahidə olunur. Bu termiki effektin intensivliyi karbon tərkibli qalığın oksidləşməsini və materialın quruluşunda yenidənqurma proseslərinin baş verdiyini göstərir. Təxminən 747 °C temperaturda termiki parçalanma başa çatdıqdan sonra qalıq kütlə 15,77% təşkil edir ki, bu da ehtimal olunan qeyri-üzvi komponentlərdən və ya karbonlaşma məhsullarından ibarət əhəmiyyətli miqdarda termiki davamlı qalığın əmələ gəldiyini göstərir.

R_2 reaktivi ilə modifikasiyası nəticəsində əldə edilmiş S_{10} sorbentinin səthinin morfologiyası və topoqrafiyası JSM-6610LV SEM cihazı vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Şəkil 5-də S_{10} sorbentinin modifikasiyadan əvvəl və sonrakı səth qatının SEM nəticələri göstərilmişdir.



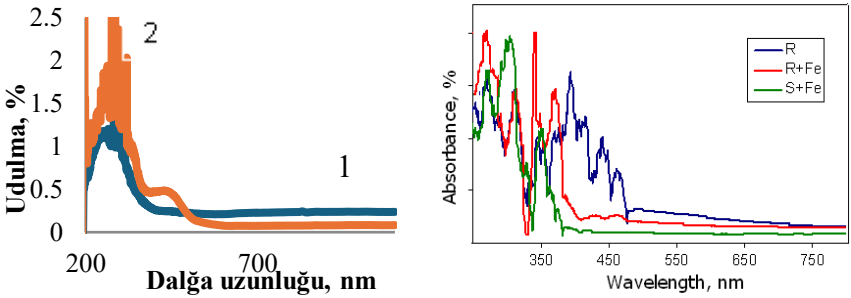


Şəkil 5. Modifikasiya edilmiş S_{10} sorbentinin səth təbəqəsinin SEM/EDS nəticələri.

SEM görüntüsündəki sahələr sorbentin kobud və məsaməli səthə malik olduğunu göstərir ki, bu da sorbentin sorbsiya qabiliyyətinin artmasına səbəb olur. Şəkil 5-dən göründüyü kimi, sorbentin məsamələri və səthi R_2 reaktivi ilə örtülmüş və bunun nəticəsində səth daha hamar olmuşdur.

EDS spektrlərindəki piklərə əsasən demək olar ki, S_{10} sorbentinin tərkibində mövcud olan əsas elementlər C və O atomlarıdır. EDS analizi həmçinin modifikasiya edilmiş formanın tərkibində N atomlarının mövcudluğunu təsdiq edir.

Tədqiqatlar zamanı dəmir (III) kompleksinin reaktivlə modifikasiyadan əvvəl və sonrakı ultrabənövşəyi-görünən spektri öyrənilmişdir (Şəkil 6). Ultrabənövşəyi-görünən spektrlərin nəticələrindən (Şəkil 6) göründüyü kimi, reaktivlə modifikasiya edilmiş S_{10} sorbenti (qırmızı xətt 2) ilkin S_1 məhsulu (mavi xətt 1) ilə müqayisədə daha yüksək sorbsiya qabiliyyəti nümayiş etdirir. Bu, modifikasiya edilmiş S_{10} məhsulunda prosesə cəlb olunan aktiv reaksiya qruplarının sayının S_1 sorbenti ilə müqayisədə daha çox olması ilə izah edilə bilər. Ultrabənövşəyi-görünən spektroskopiya Specord 250 PLUS (AnalytikJena) 2010 cihazında tədqiq edilmişdir.



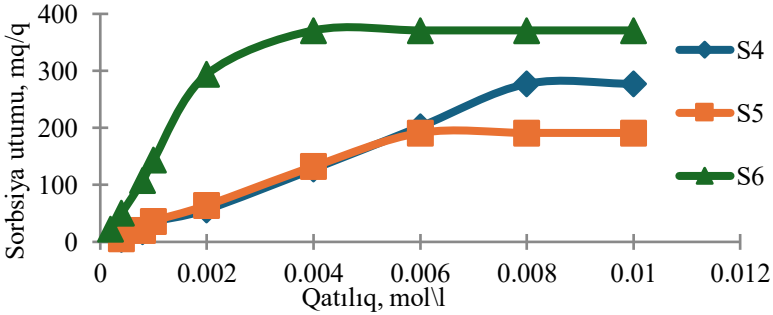
(a) **(b)**

Şəkil 6. Ultrabənövşəyi görünən spektrlər: (a) 1-S_1+Fe(III), 2-S_{10}+Fe(III), (b)-S_{10} Fe(III).

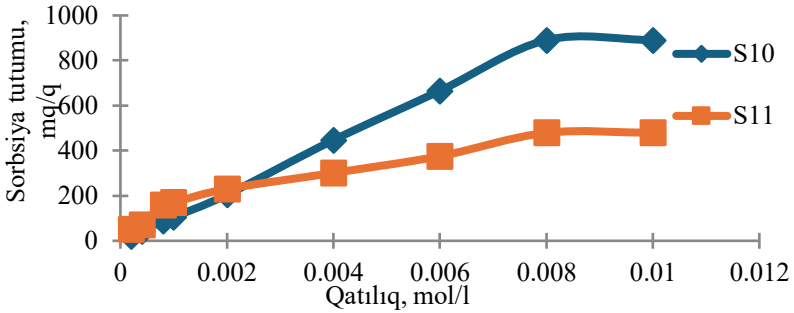
Dəmir (III) ionlarının S_1–S_9 sintetik sorbentləri ilə sorbsiyasının tədqiqi

İlkin məhlulun qatılığının sorbsiyaya təsiri çoxkomponentli məhlulların 0,0002–0,01 mol/l qatılıq intervalından istifadə etməklə müəyyən edilmişdir. Alınmış məlumatlar əsasında sorbsiya izotermləri qurulmuşdur (Şəkil 7 (a,b)).

Göründüyü kimi, məhlulda metal ionlarının ilkin qatılığı artdıqca sorbsiya tutumu və sorbsiyanın ilkin sürəti artır (Şəkil 7 (a)). Bu, məhlul ilə sorbentin səthi arasındakı qatılıq qradiyentinin artması ilə əlaqədardır. Qatılıq qradiyenti kütləötürmənin hərəkətverici qüvvəsi olmaqla, metal ionlarının sorbsiyası zamanı diffuziya müqavimətinin aradan qaldırılmasına kömək edir.



(a)



(b)

Şəkil 7. (a) - S_4, S_5 və S_6 sorbentləri ilə dəmirin (III) sorbsiya izotermləri; (b) - S_{10} və S_{11} sorbentləri ilə dəmirin (III) sorbsiya izotermləri.

Beləliklə, ilkin qatılıq artdıqca hərəkətverici qüvvə də artır ki, bu da sorbsiya prosesinin effektivliyinin yüksəlməsinə səbəb olur. Sonrakı mərhələdə sistem doyma nöqtəsinə çatdıqdan sonra aktiv mərkəzlərin sayının azalması səbəbindən məhlulun qatılığı sorbsiya olunmuş ionun miqdarında əhəmiyyətli dəyişiklik yaratmır.

S_{10} və S_{11} üçün sorbsiya izotermləri (Şəkil 7 (b)) göstərir ki, hər iki halda ən yüksək sorbsiya $8 \cdot 10^{-3}$ M qatılığında müşahidə olunur və S_{10} sorbenti üçün 890,68 mq/q, S_{11} sorbenti üçün isə 479,2 mq/q təşkil edir. Göründüyü kimi, qatılıq artdıqca sorbsiyanın effektivliyinin yüksəlməsi müşahidə olunur, bundan sonra isə bu göstərici dəyişmir. Bunu sorbentin funksional-aktiv qruplarının dəmir (III) ionları ilə tam doyması ilə izah etmək olar.

Müvafiq sorbentlərlə sorbsiya dərəcəsinin qiymətləri və sorbsiyanın əsas parametrləri cədvəl 3-də göstərilmişdir.

Cədvəl 3. Alınmış sorbentlərlə sorbsiyanın əsas parametrləri.

Sorbent	Sorbsiya tutumu, mq/q	Sorbsiya dərəcəsi, %	pH_{opt}	μ, mol/l	Zaman, min.
S_1	404,88	91,75	5	0,4	30
S_2	267,8	86,99	4	0,2	60
S_3	373,31	87,3	5	0,2	60

S_4	277,2	91	5	0,2	90
S_5	191,28	91,9	5	0,2	120
S_6	371	95	4	0,2	120
S_7	367,21	85	5	0,2	90
S_8	348	90,7	5	0,2	120
S_9	331,61	91,1	5	0,2	90
S_{10}	890,68	95,75	5	0,4	120
S_{11}	479,2	94	4	0,2	150

S_1–S_9 nümunələrinin sorbsiya xassələrinin müqayisəli təhlili göstərmişdir ki, tədqiq olunan sorbentlər maddələrin məhluldan yüksək effektivliklə çıxarılmasını təmin edir, lakin onların xarakteristikaları prosesin şəraitindən asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Ən yüksək sorbsiya tutumu S_1 nümunəsi üçün xarakterikdir və bu göstərici 404,88 mq/q, sorbsiya dərəcəsi isə 91,75% təşkil etmişdir. Eyni zamanda, proses nisbətən mülayim şəraitdə getmişdir: optimal pH qiyməti 5 olmuşdur. 0,4 mol/l-ə qədər ion qüvvəsinin qiyməti sorbsiya dərəcəsinə təsir göstərmir, effektiv sorbsiyaya nail olmaq üçün tələb olunan müddət isə cəmi 30 dəqiqədir. Bu, həmin sorbentin yüksək aktivliyə və sürətli təsirə malik olduğunu göstərir. Yüksək sorbsiya tutumu S_3 (373,31 mq/q), S_6 (371 mq/q) və S_7 (367,21 mq/q) nümunələrində də müşahidə edilmişdir.

Tədqiq olunan sorbentlərin əksəriyyəti pH=4–5 olan zəif turş mühitdə ən yaxşı nəticələri göstərmişdir ki, bu da məhlulun turşuluğunun sorbsiya prosesində mühüm rol oynadığını göstərir. Maksimal effektivliyə nail olmaq üçün tələb olunan müddət 30–120 dəqiqə arasında dəyişmişdir ki, bu da tədqiq olunan materiallarda sorbsiya proseslərinin kinetikasının fərqli olduğunu göstərir. Ümumilikdə, tədqiqatın nəticələri göstərir ki, öyrənilmiş bütün sorbentlər yüksək sorbsiya aktivliyinə malikdir və məhlulların təmizlənməsi üçün perspektivli materiallar kimi nəzərdən keçirilə bilər.

S_1 və S_8 sorbentləri müvafiq reaktivlə modifikasiya edildikdən sonra alınmış məhsullardan (S_{10} və S_{11}) onların sorbsiya xarakteristikalarının öyrənilməsi üçün istifadə edilmişdir. Cədvəl 3-dən göründüyü kimi, pH=4–5 qiyməti sorbentin tam sorbsiya tutumuna uyğun gə-

lir. Nəzərə alsaq ki, bu pH qiymətində sorbentlər əsasən ion formasında olurlar, onların sorbsiya xassəsini ion formasında nümayiş etdirdiyini ehtimal etmək olar. 2 saatdan sonra sorbsiya tarazlığının əldə olunduğu müşahidə edilir.

Hər iki halda ion qüvvəsinin 0,2–1,6 mol/l intervalında artırılması sorbsiya prosesinə təsir göstərmir. İon qüvvəsinin sonrakı artması sorbentin tutumunun azalmasına səbəb olur.

Dəmirin (III) qatılığının artması ilə sorbentin sorbsiya tutumunun qiymətinin artması müşahidə olunur. Müəyyən qiymətdən sonra dəmirin (III) miqdarının artırılması son həddə tutumunun artmasına səbəb olmur və sonradan bu göstərici sabitləşir. Bunu makromolekulun tərkibindəki funksional qrupların metal ionları ilə tam doyması ilə izah etmək olar.

Eyni qatılıqlı mineral və üzvi turşulardan istifadə etməklə üçvalentli dəmir ionlarının desorbsiyasının müqayisəli tədqiqi göstərmişdir ki, nitrat turşusu ən yüksək desorbsiya qabiliyyətinə malikdir (cədvəl 3). Bu, onun yüksək turşuluğu və Fe(III) ionları ilə sorbentin funksional qruplarının donor atomları arasındakı koordinasiya rabitələrini effektiv şəkildə parçalamaq, həmçinin dəmirin yaxşı həll olunan nitrat komplekslərini əmələ gətirmək qabiliyyəti ilə izah olunur ki, bu da metalın məhlula keçməsinə kömək edir. Desorbsiya nəticələri göstərir ki, 0,5 mol/l HNO_3 məhlulundan istifadə edildikdə ionların 95%-dən çoxu desorbsiya olunur.

Desorbsiya prosesi həmçinin optimal eluentin müxtəlif qatılıqlarında tədqiq edilmişdir. Məqsəd eluentin hansı maksimal qatılığında və hansı həcmdə daha çox dəmirin (III) desorbsiya olunduğunu müəyyən etmək olmuşdur. Bunun üçün nitrat turşusunun qatılığı 0,5–2,0 mol/l intervalında dəyişdirilmişdir. Nəticələr göstərir ki, nitrat turşusunun miqdarı artdıqca desorbsiya qabiliyyəti də artır. 2,0 mol/l qatılıqda ən yüksək desorbsiya dərəcəsi müşahidə olunur.

Nəticədə müəyyən edilmişdir ki, minimal həcmdə 2,0 mol/l qatılıqlı nitrat turşusu məhlulunun istifadəsi Fe(III)-in desorbsiyası üçün optimal şəraiti təmin edir və desorbsiya dərəcəsi 97–98%-ə çatır. Əldə edilmiş nəticələr sintez edilmiş sorbentlərin effektiv regenerasiyasının mümkünlüyünü və onların müxtəlif mənşəli obyektlərdən dəmirin

(III) çıxarılması zamanı dəfələrlə istifadə üçün perspektivli olduğunu təsdiq edir.

Sorbsiya tarazlığının tədqiqi. Sorbsiya izotermləri

Sorbent və sorbat arasındakı tarazlıq əlaqələrini izah etmək və sorbentin dəmir (III) ionlarına qarşı maksimal sorbsiya qabiliyyətini müəyyən etmək məqsədilə sorbsiya izotermlərinin bir neçə modeli öyrənilmişdir. Lenqmür və Dubinin–Raduşkeviç modelləri üzrə nəticələr müvafiq olaraq 4 və 5-ci cədvəllərdə təqdim edilmişdir.

Cədvəl 4. Lenqmür sorbsiya izoterminin parametrləri.

Sorbent	Sorbsiya parametrləri			
	(q_{maks}, mq/q)	(K_L, l/mq)	(R_L)	(R^2)
S_1	2,77	0,3	0,76	0,911
S_2	71,42	1,75	0,99	0,969
S_3	7,608	4,28	0,99	0,992
S_6	13,44	24,08	0,99	0,93
S_7	1,176	2,83	0,97	0,98
S_8	12,28	0,36	0,99	0,769
S_{11}	58,2	0,47	0,99	0,905

İzoterm modellərinin sorbsiya proseslərini izah etmək üçün tətbiqolunma mümkünlüyü korrelyasiya əmsallarının R^2 müqayisəsi yolu ilə qiymətləndirilmişdir. R^2 qiymətləri vahidə nə qədər yaxın olarsa, müvafiq model sorbsiya prosesinin təsvirinə bir o qədər yaxşı uyğun gəlir. Nəticələr göstərir ki, xətti asılılıq eksperimental nəticələrə kifayət qədər yaxşı uyğun gəlir və bu, korrelyasiya əmsallarının R^2 yüksək qiymətləri ilə təsdiq olunur.

Lenqmür sabitləri və onların korrelyasiya əmsalları R^2 cədvəl 4-də verilmişdir. Məlumdur ki, Lenqmür nəzəriyyəsinə əsasən, R_L qiyməti 0–1 intervalında olduqda optimal sorbsiya müşahidə olunur. Cədvəl 4-dən göründüyü kimi, S_1 sorbenti üçün R_L=0,76, S_2, S_3, S_6 sorbentləri üçün R_L=0,99, S_7 üçün R_L=0,97, S_8 üçün isə R_L=0,99 qiymətləri alınmışdır. Göründüyü kimi, bütün sorbentlər üçün R_L qiymətləri 0–1 intervalında yerləşir ki, bu da seçilmiş şəraitdə sorbsiya prosesinin əlverişli şəkildə getdiyini göstərir. Beləliklə, Lenqmür

izoterm modelinin yuxarıda qeyd olunan sorbentlərlə sorbsiya prosesinin izahı üçün əlverişli olduğunu söyləmək olar.

Cədvəl 5. Dubinin–Raduşkeviç sorbsiya izoterminin parametrləri.

Sorbent	Sorbsiya parametrləri			
	(q_s, mq/q)	(E, kJ/mol)	K_{D-R}, mol^2/kJ^2	(R^2)
S_1	5,65	2,8	$0,4 \cdot 10^{-5}$	0,738
S_2	221,4	2,89	$6 \cdot 10^{-8}$	0,801
S_3	291,2	2,8	$6 \cdot 10^{-8}$	0,933
S_4	16,11	0,4	$3 \cdot 10^{-6}$	0,921
S_5	8,89	1,61	$2 \cdot 10^{-7}$	0,846
S_6	384,25	3,5	$4 \cdot 10^{-8}$	0,882
S_7	73,4	0,11	$4 \cdot 10^{-5}$	0,939
S_8	7,42	5,1	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,886
S_9	6,62	2,5	$8 \cdot 10^{-8}$	0,930
S_{10}	8,47	7,142	$1 \cdot 10^{-8}$	0,521
S_{11}	8,47	7,142	$0,3 \cdot 10^{-7}$	0,931

q_s, R^2 və K_{D-R} qiymətləri cədvəl 5-də verilmişdir. Dubinin–Raduşkeviç modelinin miqdari xarakteristikası sorbsiya enerjisinin qiymətidir (E). E qiyməti sorbsiya prosesinin hansı mexanizm üzrə baş verdiyi haqqında nəticə çıxarmağa imkan verir. Məlumdur ki, E qiyməti 8–16 kJ/mol intervalında olduqda bu, kimyəvi sorbsiya prosesinin baş verdiyini, E qiymətinin 8 kJ/mol-dan aşağı olması isə fiziki sorbsiya prosesini göstərir. Beləliklə, bizim halda bütün sorbentlər üçün E qiymətinin 8 kJ/mol-dan aşağı olması sorbentlərlə Fe(III) ionları arasında fiziki sorbsiya prosesinin baş verdiyini göstərir.

Sintez edilmiş sorbentlərlə Fe(III) ionlarının sorbsiyasının kinetik xassələrinin tədqiqi

Sorbsiya kinetikasının öyrənilməsi prosesin mexanizmi baxımından sorbsiyanın təsvir edilməsi üçün faydalı ola bilər. Bu işdə bir neçə kinetik model, o cümlədən psevdo-birinci və psevdo-ikinci tərtib modelləri tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, psevdo-ikinci

tərtib modeli dəmir (III) ionlarının sorbsiya prosesini daha yaxşı təsvir edir (cədvəl 6).

Cədvəl 6. Psevdo-ikinci tərtib modelinin nəticələri.

	Psevdo-ikinci tərtib modeli			
Sorbent	$q_{e(eksp)}$, mq/q	k_2, (q/mq·s)	$q_{e(hes)}$, mq/q	(R^2)
S_1	182,216	0,125	200	1
S_2	267,8	0,005	200	1
S_3	373,33	0,059	363,44	1
S_4	277,2	0,016	111,11	1
S_5	191,28	0,007	173,91	1
S_6	373,33	1,36	435	1
S_7	361,27	0,004	500	0,999
S_8	91,33	0,0013	100	0,998
S_9	373,31	2,04	373	1
S_{10}	87,120	0,0023	76,92	0,991
S_{11}	150,7	0,00038	166,66	0,989

Bu kinetik modelin nəticələrinə əsasən belə qənaətə gəlmək olar ki, demək olar ki, bütün sorbentlər üçün hesablanmış qiymət eksperimental qiymətə əhəmiyyətli dərəcədə daha yaxındır. Bu isə ikinci tərtib modelinin qeyd olunan sorbentlərlə Fe(III)-in sorbsiya yolu ilə qatılaşdırılmasının kinetik xüsusiyyətlərini təsvir etmək üçün tətbiq oluna biləcəyini göstərir.

Məlum olduğu kimi, temperatur sorbsiyanın sürətinə və tarazlığına təsir göstərir. Buna görə də sorbsiya mexanizmini daha ətraflı anlamaq məqsədilə temperaturun sorbsiya prosesinə təsiri öyrənilmişdir. Temperaturun dəyişməsi ilə dəmirin (III) sorbsiya sürəti dəyişir. Bu isə sorbsiya enerjisini qiymətləndirməyə imkan verir.

Aktivləşmə enerjisinin hesablanması üçün müxtəlif temperaturlarda sürət sabitlərinin qiymətləri hesablanmışdır. Bu məlumatlar əsasında Arrenius tənliyindən istifadə etməklə sorbsiya prosesinin aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Aktivləşmə enerjisinin qiymətləri S_1 üçün 12,557 kJ/mol, S_5 üçün 42,878 kJ/mol və S_{10} üçün 33,138

kJ/mol təşkil etmişdir. S_1 üçün E_a-nin ən aşağı qiyməti sorbsiya prosesinin daha sürətli getdiyini göstərir, S_5 və S_{10} üçün daha yüksək qiymətlər isə prosesin daha böyük enerji baryerinə malik olduğunu göstərir. Hesablanmış aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri dəmirin (III) sorbsiya mexanizmi haqqında nəticə çıxarmağa imkan verir. Belə ki, aktivləşmə enerjisinin 20 kJ/mol-dan yüksək olması S_5 və S_{10} sorbentləri üçün sorbsiyanın kimyəvi təbiətə malik olduğunu göstərir. Bu isə sorbsiya prosesində dəmir (III) ionları ilə sorbentin tərkibində olan reaktiv qruplar arasında kompleksəmələgəlmənin üstünlük təşkil etdiyini göstərir.

Müxtəlif ionların Fe(III) ionlarının sorbsiyasına təsiri

Fe(III)-in sorbsiyasına kənar ionların təsirini və müşayiətedici kationların yol verilən miqdarını əks etdirən tədqiqat nəticələri cədvəl 7-də verilmişdir.

Cədvəl 7. Kənar ionların Fe(III) ionlarının sorbsiyasına təsiri.

Kənar ion	Məqbul miqdar	Kənar ion	Məqbul miqdar
Na(I)	5000	Ni(II)	200
K(I)	5000	Zn(II)	150
Ca(II)	800	W(VI)	100
Mg(II)	650	Cd(II)	100
Co(II)	500	Al(III)	50
Mn(II)	350	Cu(II)	50
Sr(II)	210	Cr(III)	50
Ba(II)	200	Pb(II)	40

Ən yüksək yol verilən miqdara birvalentli Na(I) və K(I) ionları malikdir. Onlar yüksək kompleksəmələgətirmə qabiliyyətinə və yüksək hidratlaşma dərəcəsinə malik olmadıqları üçün sorbsiya prosesinə demək olar ki, təsir göstərmirlər. Qələvi-torpaq metalları olan Ca(II), Mg(II), Sr(II) və Ba(II) ionları zəif təsir göstərir ki, bu da əsasən məhlulun ion qüvvəsinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Keçid metalları olan ikivalentli Mn(II), Co(II), Ni(II), Zn(II) və Cd(II) ionları sorbentin aktiv mərkəzləri uğrunda Fe(III) ilə qismən rəqabət apara bilər ki, bu da

yol verilən miqdarların orta dərəcədə azalmasına səbəb olur. Bununla belə, Mn(II) ən az təsir göstərən iondur. Üçvalentli Al(III) və Cr(III) ionları Fe(III)-ə yaxın kimyəvi təbiətə malik olduqları, hidrolizə meyilli olduqları və səthdə davamlı komplekslər əmələ gətirdikləri üçün ən çox maneə törədən ionlar sırasına daxildir. Ən güclü təsiri Cu(II), Pb(II) və W(VI) ionları göstərir ki, bu da onların yüksək kompleksəmələgətirmə qabiliyyəti və sorbentin reaktiv qrupları ilə rəqabətli şəkildə birləşməsi ilə əlaqədardır. Nəticədə, həmin ionların yol verilən miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşır.

R_3 və R_4 reaktivləri ilə dəmirin (III) ekstraksiyalı-fotometrik analizi

Dəmirin (III) 4-((E)-(2-((2-((1R)-2-(1,5-dimetil-3-okso-2-fenilpirazolidin-4-il)-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-1H-1λ^4,2λ^4,3-triazol-1-il)etil)amino)-4-okso-pentan-3-il)diazenil)-1,5-dimetil-2-fenilpirazolidin-3-on (R_3) və 4-[2-(2,4-dioksipentan-3-il)hidrazinil]benzolsulfonamid (R_4) ilə ekstraksiya imkanları öyrənilmişdir. Ekstraksiya prosesinə təsir edən əsas amillər, o cümlədən mühitin turşuluğu, üzvi həlledicinin təbiəti, fazaların təmas müddəti və kompleksin davamlılığı tədqiq edilmişdir. Ekstraksiyanın effektivliyini artırmaq məqsədilə müxtəlif üzvi ekstragentlər öyrənilmiş və onların arasında ən yaxşı nəticəni yüksək ekstraksiya dərəcəsini təmin edən butanol-1 göstərmişdir. Tədqiqatın nəticələri cədvəl 8-də təqdim edilmişdir.

Cədvəl 8. Fe(III) üçün ekstraksiyalı fotometrik tədqiqatın optimal xarakteristikaları.

Parametr	R_3	R_4
Rəng	Qırmızı-qəhvəyi	Qırmızı-qəhvəyi
Tədqiq olunan pH intervalı	1-6	1-6
Maksimal ekstraksiyanın pH qiyməti	5	5
Üzvi həlledici	Butanol-1	Butanol-1
Ekstraksiya zamanı, dəq	3	3
λ_{maks}, nm	490	490

Molyar udma əmsalı, ε (l/mol·sm)	$6{,}1\cdot10^4$	$4{,}9\cdot10^3$
R,%	89.4	86
Ber qanununa tabeolma intervalı, (mkq/ml)	0,112-3,36	0,112-3,36
Korrelyasiya əmsalı	0,975	0,99
Paylanma əmsalı	124	5
Ekstraksiya faktoru	50	50
Təyin olunma həddi (mkq/ml)	0,077	0,08

Cədvəldə təqdim olunan nəticələr göstərir ki, R_3 və R_4 reaktivləri tədqiq olunan komponentlə sabit qırmızı-qəhvəyi komplekslər əmələ gətirir. Bu komplekslərin maksimal ekstraksiyası üzvi həlledici kimi butanol-1 istifadə edildikdə pH=5-də əldə olunur. Hər iki reaktiv üçün optimal ekstraksiya müddəti 3 dəqiqə təşkil edir, işıq udulmasının maksimumu isə 490 nm dalğa uzunluğunda müşahidə olunur. R_3 reaktivi R_4 ilə müqayisədə molyar işıqudma əmsalının və paylanma əmsalının əhəmiyyətli dərəcədə daha yüksək qiymətləri ilə xarakterizə olunur ki, bu da onun daha yüksək həssaslığa və ekstraksiya effektivliyinə malik olduğunu göstərir. R_3 üçün kompleksin ekstraksiya dərəcəsi də daha yüksək olub 89,4%, R_4 üçün isə 86% təşkil edir. Hər iki reaktiv eyni 0,112–3,36 mkq/ml qatılıq intervalında Ber qanununa tabe olur və yüksək korrelyasiya əmsallarına malikdir ki, bu da dərəcəli qrafik asılılığının xəttiliyini təsdiq edir. Aşağı aşkarlanma hədləri işlənib hazırlanmış metodikaların maddənin mikro miqdarlarının təyin edilməsində tətbiq oluna biləcəyini göstərir.

Əmələ gələn kompleksin tərkibində komponentlərin nisbəti izomolyar seriya, tarazlığın sürüşməsi və Starik–Barbanelin nisbi çıxım metodu ilə müəyyən edilmişdir. Komponentlər 1:2 nisbətindədir. Astaxov üsulu ilə kompleksəmələgəlmə nəticəsində əmələ gələn protonların sayı müəyyən edilmiş və müvafiq komponentlərin nisbəti əsaslandırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, pH=4–5 intervalında $\lg\left(\frac{\Delta A}{\Delta A_{lim}-\Delta A)}\right)$-ın pH-dan asılılıq qrafikinin tangensinin meyli 2-yə bə-

rabərdir və kompleksəmələgətirici $Fe(OH)_2^+$ formasındadır. Bu, liqandla reaksiya zamanı 2 protonun əvəz olunduğunu göstərir. Ən kiçik kvadratlar üsulu ilə dərəcəli qrafikə uyğun tənlik hesablanmışdır: R_3 üçün A=0,176x+0,097, R_4 üçün isə y=0,148x+0,032.

Tədqiqatlar zamanı müxtəlif ionların butanol-1 ilə ekstraksiyaya təsiri öyrənilmişdir. Nəticələr cədvəl 9-da göstərilmişdir.

Cədvəl 9. Kənar ionların Fe(III) ekstraksiyasına təsiri

İon	İonların kütlə nisbəti		İon	İonların kütlə nisbəti	
	R_3	R_4		R_3	R_4
Na(I)	2040	2000	Co(II)	2250	2000
K(I)	3010	3000	Cu(II)	480	450
Mg(II)	1500	1500	Pb(II)	2000	2000
Ca(II)	250	200	Sr(II)	750	800
Ba(II)	8700	8000	Al(III)	650	750
Zn(II)	3000	2500	Cr(III)	300	450
Cd(II)	5000	4500	Ti(IV)	460	410
Mn(II)	2590	2500	Mo(VI)	810	750
Ni(II)	2700	2800	W(VI)	450	400

Nəticələr göstərmişdir ki, bu metodika yüksək seçiciliklə xarakterizə olunur. Cədvəl 9-da verilmiş məlumatlara əsasən, tədqiq olunan ionların əksəriyyəti R_3 və R_4 reaktivləri ilə Fe(III)-in kompleksəmələgəlmə prosesinə minimal təsir göstərir. Liqandlar Ba(II), Cd(II), K(I), Zn(II), Ni(II) və Mn(II) ionlarının iştirakı şəraitində ən yüksək davamlılıq nümayiş etdirir. Bu, həmin ionlar üçün yol verilən kütlə nisbətlərinin ən yüksək qiymətləri ilə təsdiq olunur.

Eyni zamanda, Ca(II), Cr(III), Cu(II), Ti(IV) və W(VI) ionları ən güclü maneə törədici təsir göstərir ki, bu da nisbətən aşağı yol verilən nisbətlərlə xarakterizə olunur. Tədqiq olunan kationların əksəriyyəti üçün R_3 və R_4 reaktivləri üzrə hesablanmış kütlə nisbətləri birbirinə yaxındır ki, bu da onların oxşar seçiciliyə malik olduğunu göstərir.

R_3 liqandı ayrı-ayrı ionların təsirinə qarşı bir qədər yüksək davamlılıq nümayiş etdirir, R_4 liqandı isə bəzi digər elementlər üçün daha yaxşı nəticələr göstərir. Yol verilən kütlə nisbətlərinin qiymətləri yüksək həddə malikdir ki, bu da reaktivlərin Fe(III)-ə qarşı yüksək seçiciliyini göstərir. Başqa sözlə, kənar ionların əhəmiyyətli qatılıqlarının iştirakı şəraitində belə metodika yüksək seçiciliyi ilə fərqlənir.

Beləliklə, əldə edilmiş nəticələrə əsasən, R_3 və R_4 liqandlarının çoxkomponentli tərkibə malik mürəkkəb obyektlərdə Fe(III)-in ekstraksiya yolu ilə qatılaşdırılması və təyin edilməsi üçün effektiv şəkildə istifadə edilə biləcəyini söyləmək olar.

İşlənib hazırlanmış metodikaların müxtəlif obyektlərə tətbiqi

Mürəkkəb obyektlərdə üçvalentli dəmir ionlarının mikro miqdarlarının təyin edilməsi zamanı müxtəlif sintetik sorbentlərin, həmçinin ekstraksiya üsullarının tətbiqi imkanları tədqiq edilmişdir. S_1–S_{11} sorbentləri ilə qatılaşdırmadan sonra mürəkkəb obyektlərdə dəmirin (III) mikro miqdarının təyini üzrə alınmış nəticələr ICP-OES nəticələri ilə müqayisə edilmiş və cədvəl 10-da təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 10. Mürəkkəb obyektlərdə Fe(III) miqdarının S_1-S_{11} sorbentləri ilə təyini (n=5, P=0.95)

Obyekt	Sorbent	Reagent	$\bar{X} \pm \frac{t_{p,f.} \cdot S}{\sqrt{n}}$,	S_r
Qarabaşaq, %	S_4	R_1	$(0,358\pm0,013)\cdot10^{-3}$	0,039
		ICP-OES	$(0,371\pm0,013)\cdot10^{-3}$	0,043
	S_6	R_1	$(0,491\pm0,019)\cdot10^{-3}$	0,028
		ICP-OES	$(0,499\pm0,018)\cdot10^{-3}$	0,031
Qırmızı lobya, %	S_5	R_1	$(0,774\pm0,027)\cdot10^{-3}$	0,027
		ICP-OES	$(0,78\pm0,028)\cdot10^{-3}$	0,031
	S_7	R_1	$(0,672\pm0,038)\cdot10^{-3}$	0,049
		ICP-OES	$(0,679\pm0,039)\cdot10^{-3}$	0,051
İspanaq, %	S_{10}	R_1	$(0,299\pm 0,01)\cdot10^{-3}$	0,025
		ICP-OES	$(0,311\pm 0,01)\cdot10^{-3}$	0,029
	S_{11}	R_1	$(0,225\pm 0,01)\cdot10^{-3}$	0,032

		ICP-OES	$(0,236\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,035
Göbələk, %	S_{10}	R_1	$(0,127\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,047
		ICP-OES	$(0,142\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,051
	S_{11}	R_1	$(0,123\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,041
		ICP-OES	$(0,132\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,045
Qarğıdalı, %	S_{10}	R_1	$(0,329\pm 0,012)\cdot 10^{-3}$	0,031
		ICP-OES	$(0,341\pm 0,013)\cdot 10^{-3}$	0,034
Brokkoli, %	S_{11}	R_1	$(0,157\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,039
		ICP-OES	$(0,168\pm 0,01)\cdot 10^{-3}$	0,043
İçməli su, mq/l	S_2	R_1	$(0,772\pm 0,032)\cdot 10^{-3}$	0,037
		ICP-OES	$(0,789\pm 0,04)\cdot 10^{-3}$	0,044
	S_9	R_1	$(0,876\pm 0,041)\cdot 10^{-3}$	0,041
		ICP-OES	$(0,887\pm 0,048)\cdot 10^{-3}$	0,047
Dəniz suyu, mq/l	S_2	R_1	$(0,672\pm 0,029)\cdot 10^{-3}$	0,037
		ICP-OES	$(0,691\pm 0,033)\cdot 10^{-3}$	0,042
	S_9	R_1	$(0,716\pm 0,025)\cdot 10^{-3}$	0,031
		ICP-OES	$(0,729\pm 0,029)\cdot 10^{-3}$	0,035

Cədvəldə təqdim olunan nəticələr müxtəlif qida obyektlərində və su nümunələrində dəmir (III) ionlarının miqdarının S_1–S_{11} sorbentlərindən istifadə etməklə təyin edilməsini əks etdirir. Alınmış orta qatılıq qiymətləri yüksək təkrarolunma dərəcəsi ilə xarakterizə olunur ki, bu da nisbi standart kənarlaşmanın (S_r) aşağı qiymətləri ilə təsdiq edilir və tətbiq olunan analiz metodikasının dəqiqliyini və etibarlılığını göstərir. Alınmış nəticələrin ICP-OES nəticələri ilə müqayisəsi onların yaxşı uyğunluğunu göstərir. Ümumilikdə, cədvəldəki məlumatlar tədqiq olunan sorbentlərin effektivliyini və onların qida və su nümunələrində dəmirin (III) mikromiqdarlarının təyin edilməsi üçün praktiki tətbiqinin mümkünlüyünü təsdiq edir.

Mürəkkəb obyektlərdə dəmirin (III) ekstraksiyalı fotometrik analizi üzrə nəticələr cədvəl 11-də verilmiş və ICP-OES analizinin məlumatları ilə müqayisə edilmişdir.

Cədvəl 11. Müxtəlif obyektlərdə Fe(III) ionlarının ekstraksiyalı fotometrik üsulla təyini (n=5, P=0.95).

Obyekt	Reaktiv	$\bar{X} \pm \frac{t_{p,f.} S}{\sqrt{n}}$	S_r
Alma (Qızıləhməd)	R_1	$(0,549 \pm 0,036) \cdot 10^{-3}$	0,057
	ICP-OES	$(0,561 \pm 0,041) \cdot 10^{-3}$	0,063
Alma (Simirenko)	R_1	$(0,567 \pm 0,035) \cdot 10^{-3}$	0.055
	ICP-OES	$(0,576 \pm 0,035) \cdot 10^{-3}$	0.054
Feyxoa, %	R_1	$(0,239 \pm 0,013) \cdot 10^{-3}$	0,048
	R_3	$(0,237 \pm 0,014) \cdot 10^{-3}$	0,051
	R_4	$(0,241 \pm 0,012) \cdot 10^{-3}$	0,045
	ICP-OES	$(0,24 \pm 0,012) \cdot 10^{-3}$	0,044
Spanaq, %	R_1	$(0,578 \pm 0,029) \cdot 10^{-3}$	0,044
	ICP-OES	$(0,586 \pm 0,032) \cdot 10^{-3}$	0,048
Qırmızı lobya, %	R_1	$(0,478 \pm 0,022) \cdot 10^{-3}$	0,041
	R_3	$(0,451 \pm 0,025) \cdot 10^{-3}$	0,049
	R_4	$(0,437 \pm 0,023) \cdot 10^{-3}$	0,046
	ICP-OES	$(0,486 \pm 0,022) \cdot 10^{-3}$	0,039
Göbələk (Şampinyon)	R_1	$(0,341 \pm 0,014) \cdot 10^{-3}$	0,037
	R_3	$(0,345 \pm 0,014) \cdot 10^{-3}$	0,035
	R_4	$(0,349 \pm 0,016) \cdot 10^{-3}$	0,041
	ICP-OES	$(0,353 \pm 0,017) \cdot 10^{-3}$	0,044
Dəniz suyu, mq/l	R_1	$(0,199 \pm 0,005) \cdot 10^{-3}$	0,021
	R_3	$(0,184 \pm 0,005) \cdot 10^{-3}$	0,025
	ICP-OES	$(0,189 \pm 0,006) \cdot 10^{-3}$	0,026

Təqdim olunan nəticələr R_1, R_3, R_4 reaktivlərindən və ICP-OES üsulundan istifadə etməklə qida məhsullarında və su nümunələrində tədqiq olunan komponentin miqdarının təyin edilməsini xarakterizə edir. Müxtəlif üsullarla müəyyən edilmiş qiymətlər bir-biri ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir ki, bu da aparılmış analizin etibarlılığını və düzgünlüyünü təsdiq edir. Ümumilikdə, nəticələr göstərir ki, bu metodikalar müxtəlif obyektlərin analizində effektiv şəkildə tətbiq oluna bilər və əldə edilmiş məlumatlar ICP-OES spektroskopiyasının nəticələri ilə yaxşı müqayisə olunur.

NƏTİCƏLƏR

1. Dəmirin (III) mikromiqdarlarının təyini üçün yeni qatılaşdırma metodikaları işlənib hazırlanmışdır. Tədqiqat çərçivəsində dəmirin (III) sulu məhlullarda və müxtəlif mürəkkəb obyektlərdə sorbsiya və ekstraksiya üsulları ilə qatılaşdırılması ətraflı öyrənilmişdir.
2. Dəmirin (III) sorbsiya üsulu ilə qatılaşdırılmasının həyata keçirilməsi üçün malein anhidridi-stirol sopolimeri və müxtəlif aminlər əsasında sorbentlər (S_1–S_9) sintez edilmişdir. Alınmış sorbentlərdən ikisi əlavə olaraq R_2 reaktivi ilə modifikasiya edilmişdir və S_{10} və S_{11} sorbentləri alınmışdır. İki yeni kimyəvi reagent (R_3 və R_4) sintez edilmiş və monokristalları alınmışdır.
3. Sintez edilmiş sorbentlərin tərkibi İQ-spektroskopiya metodu ilə tədqiq edilmişdir. Reaktivlə modifikasiya edilmiş sorbentlər həmçinin SEM/EDS və UB/görünən spektroskopiya üsulları ilə, temperatura davamlılıqları isə termiki analiz metodları vasitəsilə öyrənilmişdir. Alınmış R_3 və R_4 reagentlərinin quruluşu rentgen quruluş analizi metodu ilə öyrənilmişdir.
4. Dəmirin (III) sorbsiyası zamanı alınmış sorbentlərin əsas sorbsiya xarakteristikaları öyrənilmiş və sorbsiya prosesinin optimal şəraiti müəyyən edilmişdir. Sorbsiya prosesinin təsviri üçün müxtəlif modellərdən, xüsusilə Lenqmür, Freyndlix və Dubinin–Raduşkeviç modellərindən istifadə edilmişdir. Sorbsiya kinetikası psevdo-birinci və psevdo-ikinci tərtib modelləri vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Sintez edilmiş sorbentlər ilə dəmirin (III) desorbsiyası tədqiq edilmiş və optimal eluent müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmiş parametrlər sorbentlərin effektiv regenerasiyasına və təkrar istifadəsinə imkan verdiyini göstərmişdir.
5. R_1, R_3 və R_4 reagentlərindən istifadə etməklə Fe(III)-in ekstraksiya üsulu ilə qatılaşdırılması metodikası işlənib hazırlanmış və ekstraksiyanın əsas parametrləri müəyyən edilmişdir.
6. Müxtəlif kənar ionların, xüsusilə Na(I), K(I), Ca(II), Mg(II), Ni(II), Co(II), Mn(II), Zn(II), Cu(II), W(VI) və digər ionların Fe(III) ionlarının qatılaşdırılmasına təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmiş-

dir ki, kənar ionların kifayət qədər artıq miqdarı dəmirin (III) təyininə mane olmur, bu da təklif olunan metodikaların yüksək seçiciliyə malik olduğunu göstərir.

7. İşlənib hazırlanmış qatılaşdırma metodikaları təbii və sənaye mənşəli nümunələrdə — meyvələrdə (müxtəlif alma sortları, çiyələk, ərik və s.), yarma və dənli bitkilərdə (qarabaşaq, qarğıdalı, lobya), içməli və dəniz sularında və s. dəmirin (III) mikromiqdarının təyini üçün uğurla sınaqdan keçirilmişdir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı nəşrlərdə öz əksini tapmışdır.

1. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Studying the sorption of Fe(III) ions by chelate-forming synthetic sorbents // 1st International Science and Engineering Conference. Baku. - 2018, -p. 14-15.
2. Eyyubova, E.C., Əhmədova, K.D., Nağıyev, X.C., Çıraqov, F.M. Dəmirin (III) yeni sintetik sorbentlə sorbsiyasının tədqiqi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları. Bakı. - 2018, - s. 209-210.
3. Эюбова, Э.Дж., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Спектрофотометрическое определение Fe(III) с 2,3,4-тригидрокси-4`-(4``-аминобензол)азобензолом // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları. Bakı. - 2018, - c. 258-259.
4. Эюбова, Э.Дж., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Изучение сорбции ионов Fe(III) хелатообразующим сорбентом на основании сополимера стирола с малеиновым ангидридом и N,N`-дифенилгуанидина // Химия, Химические технологии и экология: Наука, производство, образование. Тезисы докладов международной научно-практической конференции и школы молодых ученых, Махачкала, - 2018, - с. 45-46.

5. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption of Fe (III) ions on maleic anhydride styrene copolymer-N,N'-diphenylguanidine // Research Journal of Chemistry and Environment, - 2019, vol. 23, № 6, - p. 41-51.
6. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe(III) ions by synthetic chelating sorbent // III International Scientific Conference of Young Researchers, Baku. - 2019, - p. 146-148.
7. Ахмедли, К.А., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Сравнение сорбции ионов Fe(III) природным и синтетическим сорбентом // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XIII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları, Bakı. - 2019, - c. 109.
8. Eyyubova, E.J. Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe (III) ions by synthetic adsorbent: adsorption isotherms // Journal of Baku Engineering University- Chemistry and biology, - 2019, vol. 3, № 2, - p. 87-94.
9. Eyyubova, E.C., Əhmədova, K.D. Dəmirin (III) yeni sintetik sorbentlə sorbsiyasının tədqiqi // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın Aktual Problemləri" XIII Beynəlxalq Elmi Konfrasının materialları, Bakı. - 2019, - s. 108.
10. Эюбова, Э.Дж., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Разработка новой методики концентрирования Fe(III) для разделения его из объектов окружающей среды // XI Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды с международным участием «Экоаналитика-2019», Пермь, - 2019, - с. 180.
11. Эюбова, Э.Дж., Магеррамов, А.М., Цинцадзе, Г.В., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Сорбционно-фотометрическое исследование ионов железа (III) // Международная научно-методическая конференция «Химия-достижения и перспективы», посвященная 85-летию академика Гиви Цинцадзе, Тбилиси, - 2019, - с. 118-119.

12. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe(III) ions by masc-2-amino-4-nitrophenol // Azerbaijan Chemical Journal, - 2020, № 2, - p. 26-33.
13. Eyyubova, E.J. Adsorption of Fe (III) ions by synthetic polymer based adsorbent // New Materials, Compounds and Applications, - 2020, vol.4, №1, - p. 44-53.
14. Eyyubova, E.J., Nagiev, Kh.J. Ahmadov, E.I., Chyragov, F.M. Adsorption study of Fe(III) ions on modified adsorbent // 1st International Symposium on Recent Advances in Fundamental and Applied Sciences (ISFAS-2021), Turkey, 2021, p.97.
15. Eyyubova, E.J., Nasibova, V., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Extraction-Spectrophotometric determination of Fe^{3+} in drinking water // 6th International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies (İTWCCST), Baku, - 2022, - p. 62.
16. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe(III) ions with polymeric modified adsorbent // International Conference: Modern Problems of Theoretical & Experimental Chemistry, Devoted to the 90th anniversary of Academician Rafiga Aliyeva, Baku, -2022, - p. 31-32.
17. Eyyubova, E.J. Adsorption of Fe (III) ions on modified adsorbent: adsorption isotherms / Esmira Eyyubova, Khalil Nagiyev, Sabit Mammadov [et al.] // Azerbaijan Chemical Journal, - 2022, № 4, - p. 33-42.
18. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe (III) on modified adsorbent: adsorption isotherms and kinetics // Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy, -2022, vol. 22, № 4, - p. 433-441.
19. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Adsorption of Fe(III) ions on amine modified adsorbent // International scientific conference. "Chemistry-achievements and perspectives" dedicated to the 90th anniversary of the birth of academician Givi Tsintsadze, Tbilisi, - 2023, -p. 71.
20. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Comparative adsorption study of Fe(III) ions onto modified adsorbents // International conference: Modern trends in physics, Baku, - 2023, - p. 123-124.

21. Eyyubova, E.J. Investigation of adsorption of Fe (III) ions by polymer adsorbent: adsorption isotherms and kinetics // Journal of Baku Engineering University- Chemistry and biology, - 2023, vol. 7, № 2, - p. 171-177.
22. Eyyubova, E.J. Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Equilibrium and kinetic studies of sorption of Fe(III) ions on R-modified sorbent with CSMA // Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy, - 2023, vol. 23, № 6, - p.1094-1102.
23. Eyyubova, E.J., Mirzali, S., Lakhijova, S., Chiragov, F.M. Modification of polymer adsorbent with 4-aminobenzenesulphonamide and its application for determination of Fe(III) ions in strawberries // "Neft kimyası və kimya texnologiyasında müasir yanaşmalar" mövzusunda Respublika elmi konfransın mterialları. Bakı. - 2023, - p. 88-89.
24. Eyyubova, E.J. Synthesis, X-ray analysis, specific electric conductivity study and antioxidant activity of novel compound based on 3-(1-phenyl-2,3-dimethylpyrazolone-5)azopentadione-2,4 / Esmira Eyyubova, Famil Chiragov, Faik Musayev [et al.] // Journal of the Indian Chemical Society, Journal of the Indian Chemical Society, - 2024, vol.101, issue 12, - 101473.
25. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Lakhijova, S., Chiragov, F.M. Adsorption study of Fe(III) ions on different adsorbents // Химическая наука и образование, проблемы и перспективы развития. Сборник научных статей по итогам международной конференции, Махачкала, - 2024, p.138-141.
26. Eyyubova, E.J., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Extractive-spectrophotometric determination of Fe(III) in red beans // Материалы LXII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2023 год, Воронеж, - 2024, - p. 154.
27. Эюбова, Э.Дж., Маммадова, Ф., Нагиев, Х.Дж., Чырагов, Ф.М. Сравнительная сорбция ионов Fe(III) природным и синтетическим сорбентом. XX Международная конференция // Спектроскопия Координационных соединений, Кубань, - 2024, -с. 82.

28. Eyyubova, E.J., Maharramli, K., Nagiyev, Kh.J., Chiragov, F.M. Determination of microamount of Fe(III) ions in apple samples by extractive-spectrophometric technique // Kyiv Conference on Analytical Chemistry: Modern Trends, Kyiv, - 2024, -p. 11.
29. Eyyubova, E.J., Kurbanova, L., Nagiyev, Kh., Chyragov, F.M. Extraction-photometric determination of Fe(III) ions in fruits // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 102 illiyinə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların Kimya və Kimya texnologiyası mövzusunda IV Respublika Elmi Konfransı, Bakı, - 2025, -p. 155-156.
30. Eyyubova, E.J., Mammadova, F.O., Nagiyev, Kh.J., Hamidov, S.Z., Chyragov, F.M. Determination of Fe(III) microamounts in fruits // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 102 illiyinə həsr olunmuş Dördüncü Sənaye İnqilabı Dövründə Elm və Texnologiyaların Mövcud Vəziyyəti və İnkişaf Perspektivləri Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransının materialları, Gəncə, - 2025, - p. 17-18.
31. Eyyubova, E., Salahov, T., Nagiyev, Kh., Chyragov, F. Extraction of Fe(III) ions by polymer based adsorbent // MacroFrontiers 2025: 3rd International Scientific Conference on Macromolecular Compounds, Baku, - 2025, -p. 138-139.
32. Eyyubova, E.J. Preconcentration-based approaches for trace-level determination of Fe(III) // 2nd International Conference: Modern Problems of Theoretical and Experimental Chemistry dedicated to the 120th anniversary of academician Yusif Mammadaliyev, Baku, - 2025, - p. 349-350.



Dissertasiyanın müdafiəsi **13 noyabr 2026-cı** il tarixində saat **11:00-da** Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.16 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəhəri, Z. Xəlilov küçəsi, 33.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 09 oktyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 02.10.2026
Kağızın formatı: 60x84, 1/16
Həcmi: 39939
Tiraj: 30