

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**TOKSİKİ BİRLƏŞMƏLƏRİN SULU MƏHLULLARININ
FOTOKATALİTİK ÇEVİRİLMƏ PROSESLƏRİNƏ
NANO TiO₂-in TƏSİRİ**

İxtisas: 3305.05 – Mühəndis-kommunikasiya sistemləri

Elm sahəsi: Texnika

Iddiaçı: **Seynurə Azər qızı Həsənova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Məmarlıq və İnşaat Universitetində və İtaliya, Roma şəhəri La Sapienza Un

İnşaat Universitetində və tində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

Texnika elmləri doktoru, professor
Fəqan Qənbər oğlu Əliyev

Kimya elmləri doktoru, professor
Müslüm Əhməd oğlu Qurbanov

Rəsmi opponətlər:

Texnika elmləri doktoru, akademik
Ağadadaş Mahmud oğlu Əliyev

Texnika elmləri doktoru
Fəzil Adil oğlu Əbilov

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Mustafa Alı oğlu Əliyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.37 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BFD 2.37/1 Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor
Muxlis Əhməd oğlu Hacıyev

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının Elmi katibi:

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Maarif Zabit oğlu Yusifov

Birdəfəlik Elmi
seminarın sədri:



Texnika elmləri doktoru, professor
Nadir Baladın oğlu Ağayev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Sənaye sektorlarının fəaliyyəti nəticəsində yaranan tullantı suları ətraf mühitə ciddi ziyan vurur. Bu tullantıların düzgün şəkildə təmizlənməsi və emalı, həm təbii su mənbələrinin qorunması, həm də ekosistemin davamlılığının təmin edilməsi mühəndis-kommunikasiya sistemləri və su təsərrüfatının idarə edilməsi sahəsində böyük əhəmiyyət kəsb edir. Həmçinin, bu sahədə yeni texnologiyaların inkişafı, suyun təkrar istifadəsini təmin edərək resursların qənaətinə və ətraf mühitin mühafizəsinə xidmət edir. Tullantı sularının epidemioloji, toksikoloji və ekoloji meyarlarına uyğun təhlükəsiz, yüksək keyfiyyətli idarə olunması və təmizlənməsi müasir dövrümüzün ciddi problemlərindən biridir. Bu problemlərin həlli zamanı enerji mənbəyi kimi alternativ enerji mənbələrindən (günəş, külək enerjisi) istifadə edilməsi texnologiyaların iqtisadi baxımdan sərfəli olmasına şərait yarada bilər. Alternativ enerji mənbələrindən istifadə respublikamız üçün aktual olan “Yaşıl enerji” konsepsiyasına uyğundur. Tullantı sularının ətraf mühit və insan sağlamlığına mənfi təsirinin aradan qaldırılması üçün onların təmizlənməsi məqsədilə yeni effektiv üsulların işlənməsini aktual elmi məsələ kimi qarşıya qoyur. Azərbaycan Respublikasında ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılması, o cümlədən tullantıların idarə olunması ilə bağlı məsələlər Azərbaycan Respublikasının Prezidenti tərəfindən 28 sentyabr 2006-cı ildə (Sərəncam № 1697) təsdiq edilmiş “Azərbaycan Respublikasında ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına dair 2006-2010-cu illər üçün Kompleks Tədbirlər Planı”nda öz əksini tapmış və planda nəzərdə tutulmuş istiqamətlərdə işlər davam etdirilir. Neft hasilatı zamanı çıxan lay sularından yod-brom istehsalında istifadə olunması üçün təkliflərin hazırlanması nəzərdə tutulmuş tədbirlər planına daxil edilmişdir¹. SOCAR-ın Ekoloji Siyasət sənədi 2008-ci ildə təsdiq edilmiş və prioritet istiqamətlərdən biri kimi lay sularının təmizlənməsi üçün elmi tədqiqat işləri aparılması kimi qeyd edilmişdir. SOCAR-ın davamlı

¹Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti Ekoloji Siyasəti:/ -Bakı: – 2008. -30 s.

inkişaf hesabatlarında 2000-2022-ci illər ərzində respublika ərazisində əmələ gələn lay sularının həcmi və hazırda istifadə olunan təmizləmə metodları göstərilmişdir.

Hazırda neft sənayesində yaranan lay sularının miqdarı 20,24 mln/m³ həcmindədir².

Müxtəlif mənşəli tullantı suların toksiki tullantılardan təmizlənməsi üçün ənənəvi üsulların olmasına baxmayaraq hazırda bu məqsədlə fiziki amillərin – ionlaşdırıcı (γ-kvantlar, rentgen şüaları, sürətlənmiş elektronlar, neytronlar, protonlar, α-hissəciklər, yüksək enerjili ionlar və s.) şüalanmanın, elektrik boşalmaların və müasir oksidləşmə proseslərinin (MOP) tətbiqinə əsaslanan texnologiyalar işlənməkdədir. Bu texnologiyalar bir sıra üstünlüklərə malikdir: onlar əlavə reagent və xüsusi şərait (temperatur, təzyiq) tələb etmir, istifadə olunan materialların regenerasiyası tələb olunmur və bir mərhələli olub adi temperatur və təzyiqdə aparılır.

Bu texnologiyaların içərisində ultrabənövşəyi (UB) lampaların istifadəsi ilə fotokimyəvi parçalanma prosesi xüsusi yer alır. Buna səbəb bu texnologiyaların istifadəsi zamanı günəş enerjisindən istifadə imkanlarının olması, ətraf mühit üçün risklərin olmaması, texniki cəhətdən istifadənin sadəliyi, UB lampaların sənayedə tətbiqi üzrə təcrübənin olması, radiasiya təhlükəsinin olmaması, ilkin kapital qoyuluşunun az olması və nəticə etibarilə iqtisadi səmərəliliyin məqbul olmasıdır. Fotokimyəvi üsul vasitəsi ilə təmizlənmə metodları UB şüalanma oblastında udma spektrinə malik bir sıra yarımkeçiricilərin-TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, CdS, ZnS kimi birləşmələri modifikasiya etməklə onların udma oblastını genişləndirmək və görünən işıq oblastında şüalanma enerjisindən istifadə etmək imkanı yaradır.

“Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər” sərəncamında ölkəmizdə “yaşıl enerji” istehsalının genişləndirilməsi məsələsi də əhəmiyyətli yer alıb. Hədəf ümumi enerji istehsalı gücündə bərpaolunan enerjinin payını indiki 17,3 %-dən 2025-ci ildə 24, 2030-cu ildə isə 30 %-ə çatdırmaqdır. Alternativ enerji mənbələrindən alınan enerjinin müxtəlif məqsədlər üçün, o cümlədən ətraf mühitdə yaranan

²SOCAR illik-hesabatlar 2015-2021. <https://www.socar.az/az/page/illik-hesabatlar>

ekoloji məsələlərin həlli üçün istifadəsi aktual elmi məsələ kimi qarşıda durur.

Bu istiqamətdə yuxarıda göstərilən oksidlərdən ən perspektivlisi TiO_2 nano oksididir. Buna əsas səbəb nano TiO_2 -nin fotokimyəvi korroziyaya qarşı davamlı olmasıdır.

Hazırda nano TiO_2 -nin iştirakı ilə müxtəlif növ tullantı sularının təmizlənməsi geniş tətbiq olunur. Fotokimyəvi texnologiyaların tətbiqi zamanı təmizlənmə prosesini xarakterizə edən parametrlərin keyfiyyət göstəriciləri və lay sularının ilkin tərkibi, komponentlərin spektri həll edici rol oynayır. Buna səbəb fotokimyəvi akt zamanı yaranan aktiv zərrəciklərin toksiki komponent molekulları ilə reaksiya sürətinin molekulların növündən və uyğun reaksiyaların sürət sabitindən asılı olmasıdır. Mövcud ədəbiyyat materiallarında olan məlumatlardan kinetik təhlillər üçün istifadə edilməsi baxılan konkret prosesin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün qeyri-dəqiq nəticələr verə bilər. Bu səbəbdən Azərbaycan neft-qaz sənayesində yaranan lay sularının kompleks tədqiqi və effektiv katalitik sistemlərin işlənməsi mühüm elmi məsələdir.

Tədqiqatın əhəmiyyəti bir neçə əsas aspektdən ibarətdir:

1. Ətraf mühitin qorunması: Toksik birləşmələrin sulu mühitlərdən təmizlənməsi ətraf mühitin qorunması üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Fotokatalitik proseslər, çirkəndiricilərin tamamilə zərərsizləşdirilməsinə imkan verir ki, bu da tullantı sularının yenidən istifadəsi üçün zəmin yaradır.

2. İnsan sağlamlığı: Təmiz su resurslarına olan tələbat artmaqda davam edir. Toksik birləşmələrin effektiv təmizlənməsi, insan sağlamlığını qorumaq üçün vacibdir. Bu baxımdan dissertasiya işi, su təmizləmə texnologiyalarının inkişafına mühüm töhfə verə bilər.

3. Texnoloji innovasiya: Nano TiO_2 -in istifadəsi yeni texnologiyaların inkişafında əhəmiyyətli rol oynayır. Bu tədqiqat, fotokatalitik proseslərin effektivliyini artırmaq üçün yeni metod və materialların inkişafına kömək edə bilər.

Dissertasiya işində lay suyunun təmizlənməsində bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin innovativ texnologiyasına diqqət yetirilir. Bu tədqiqat sahəsi tullantı sularının təmizlənməsində, xüsusən də böyük həcmdə lay suyunun əmələ gəldiyi neft və qaz hasilatı kimi

sənaye sahələrində aktual problemlərin həlli yollarını əhatə edir. Dissertasiya işi günəş, külək və ya su enerjisi kimi bərpa olunan enerji texnologiyalarını təmizləmə proseslərinə daxil etməklə tədqiqat zamanı bu yanaşmaların mümkünlüyünü, səmərəliliyini və ekoloji faydalarını əhatə edir. Tədqiqat işi bərpa olunan enerji sistemlərinin su təmizləyici qurğularla integrasiyasının texniki aspektlərini araşdırır, onların fəaliyyətini suyun keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması, enerji səmərəliliyi və ümumi iqtisadi səmərəlilik baxımından qiymətləndirir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Qeyd edilənləri nəzərə alaraq dissertasiyanın tədqiqat obyektı kimi müxtəlif növ sənaye tullantı suları (zeytun yağı və metanol istehsalı zamanı əmələ gələn tullantı suları və neft-qaz çıxarılması zamanı əmələ gələn lay suları) götürülmüş və tərkibləri təyin edilmişdir. Bu məqsədlə daxilində UB lampalar ilə təchiz edilmiş təmizləmə qurğusunun konstruksiyasının işlənilib hazırlanması, model məhlul üzərində təmizləmə texnologiyasının işinin etibarlılığının və effektivliyinin yoxlanılması və sənaye şəraitində təmizləmə qurğusunun istismarının texnoloji parametrləri müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın predmeti baxılan sistemlərin fotolizi zamanı toksiki birləşmələrin çevrilmələrin kinetik qanunuyğunluqlarının və fotokatalitik metodun lay sularının təmizlənməsi üçün zəruri olan texniki parametrlərin qiymətləndirilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi tullantı sularının fotokimyəvi üsulla təmizlənmə prosesinin effektivliyinin artırılması üçün nano TiO_2 katalizatorlarının sintezi və müxtəlif metodlarla modifikasiyası, onların fotokatalitik xassələrinin öyrənilməsi və lay sularının fotokimyəvi təmizlənməsi prosesinin kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqı və günəş enerjisindən istifadə edilməklə təmizləmə texnologiyasının tətbiqi imkanlarının qiymətləndirilməsidir. Eyni zamanda, seçilmiş üsulun texnoloji və iqtisadi göstəricilərini araşdırmaq, iqtisadi cəhətdən münasib, ətraf mühitin qorunması cəhətindən təmiz və texnoloji cəhətdən tətbiqinin mümkünlüyünün müəyyənəşdirilməsi tədqiqatın əsas məqsədlərindəndir.

Bu məqsədlə aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir.

- Müxtəlif üsullarla modifikasiya edilmiş nano TiO_2 nümunələrinin sintezi və səciyyəvi parametrlərinin təyini;

- Model sistemlərdə modifikasiya olunmuş nano TiO_2 -nin katalitik aktivliyinin tədqiqi;
- Lay sularının ilkin tərkibinin kompleks tədqiqi;
- Lay sularının homogen fazada fotokimyəvi degradasiya prosesində yaranan qaz fazada əmələ gələn məhsullarının qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı və fotokimyəvi çıxımının təyini;
- Lay sularının homogen fazada fotokimyəvi təmizləmə prosesində yaranan maye məhsulların qatılığının şüalanma müddətindən asılılığının UB və Qaz Xromotaqrafiyası-Kütlə Spektroskopiyası (QX-KS) metodları ilə tədqiqi;
- İstifadə olunmuş TiO_2 katalizatorunun müxtəlif şüalanma müddətində İnfraqırmızı (İQ) spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi;
- Lay sularının heterogen fazada fotokatalitik çevrilmə prosesində yaranan qaz fazada əmələ gələn məhsullarının qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı və fotokimyəvi çıxımının təyini;
- Lay sularının heterogen fazada fotokatalitik təmizləmə prosesində yaranan maye fazada əmələ gələn məhsulların şüalanma müddətindən asılılığının UB və QX-KS spektroskopiyaya metodları ilə tədqiqi;
- Fotokatalitik texnologiyaların texniki-iqtisadi parametrlərinin qiymətləndirilməsi;

Tədqiqat metodları. Tədqiqat işində fiziki-kimyəvi parametrlərin təyini üçün Beynəlxalq standart metodlarından və müasir fiziki-kimyəvi üsullarından – İQ, UB spektroskopiyası, Qaz xromotaqrafiyası və QX-KS spektroskopiyası analiz üsullarından, katalizatorun morfoloji və səthi xassələrinin tədqiqi üçün SEM, TEM, REM, NANOSİZER cihazlarından istifadə edilmişdir.

Müəfiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Müxtəlif metod və modifikasiya üsulları ilə sintez olunmuş nano TiO_2 -nin fotokatalitik toksiki komponentlərin çevrilmə proseslərinə təsirinin təyin edilmiş parametrləri (SEM, TEM, REM, NANOSİZER);
2. Standart məhlul kimi götürülmüş tullantı sularının fotokatalitik çevrilmə prosesinin kinetik qanunauyğunluqları və parametrləri (effektiv sürət sabitləri və OKT);
3. Lay sularının ilkin tərkibinin kompleks tədqiqi-fiziki-kimyəvi

parametrlər, spektroskopik metodlar və xromotaqrafik analiz nəticələri;

4. Lay sularının fotolitik, eyni zamanda da nano TiO_2 -nin iştirakı ilə fotoliz proseslərində yaranan maye (alifatik və aromatik birləşmələr) və qaz fazada əmələ gələn məhsullarının (H_2 , CO_2 , $\text{C}_1\text{-C}_9$ karbohidrogenlər) qatılığının zamandan asılılığı (kvant çıxımları, effektiv sürət sabiti);

5. Lay sularının fotokatalitik çevrilmə prosesinin texniki-iqtisadi göstəriciləri;

Tədqiqatın elmi yeniliyi. İlk olaraq sənaye tullantı sularının (zeytun yağı və metanol istehsalı zamanı əmələ gələn tullantı suları və neft-qaz çıxarılması zamanı əmələ gələn lay suları) tərkibi kompleks şəkildə analiz edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, bu suların tərkibində üzvi maddələrin miqdarı çoxluq təşkil edir. Təmizləmə metodu kimi seçilmiş fotokatalitik üsul üçün istifadə edilən katalizator seçilmiş, müqayisəli şəkildə müxtəlif üsullar ilə modifikasiya edilmiş nano TiO_2 -in fotokatalitik xassələri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, toz, zol-gel, N-TiO_2 , maqnetik TiO_2 nanooksidlərindən metil mavisinin parçalanma prosesində maqnetik TiO_2 ən yüksək aktivliyə malikdir. İlk dəfə olaraq lay sularının toksiki tullantılardan fotokatalitik təmizləmə prosesinin kinetik xüsusiyyətləri kompleks şəkildə öyrənilmiş, fotoliz prosesində yaranan qaz və maye fazada əmələ gələn məhsulların çevrilmə proseslərinin kvant çıxımları təyin edilmişdir. Təmizləmə texnologiyasını özündə əks etdirən alternativ enerji mənbəyi ilə təmin edilmiş qurğunun prinsipial sxemi tərtib edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində alınan nəticələr fotokatalitik proseslər üçün katalizatorların seçilməsi (modifikasiya növünün, istifadə edilən işıq mənbəyinin, katalizatorada nano zərrəciklərin paylanması və ölçüləri) üçün nəzəri əsas ola bilər. Alınmış nəticələr həmçinin müxtəlif tullantı sularının təmizlənməsi üçün nano TiO_2 -nin istifadəsi ilə fotokatalitik proseslərin perspektivli olduğunu göstərir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyanın əsas materialları aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir.

1. Mühəndis sistem və qurğularında ekologiya məsələləri mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. 10-11 dekabr (2019), Bakı.
2. International Conference Modern Trends in Physics. Dedicated to

the 100th anniversary of Baku State University. 01-03 May (2019), Baku.

3. Doktorantların və Gənc tədqiqatçıların XXIII Respublika Elmi Konfransı. Böyük Azərbaycan şairi İmadəddin Nəsiminin 650 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans. Memarlıq və İnşaat Universiteti, 3-4 dekabr (2019).
4. Environmental Remediation Conference. Innovative centre to support a postgraduate 3rd cycle Advanced Course to face environmental emergency in Azerbaijan /ITACA. Modern Scientific Technology International Scientific Conference. 26-27 May (2022) Granada, Spain.
5. Modern Scientific Technology. Stockholm, Sweden. October 13-14, (2022) №1.
6. SOCAR, Baki Ali Neft Məktəbi, Azərbaycan Xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin 100 illik Yubileyinə həsr olunmuş Neft-Qaz Geologiyası və Mühəndisliyi, Tələbə və Gənc Tədqiqatçıların IV Beynəlxalq Elmi Konfransı.
7. “Su təsərrüfatı və mühəndis kommunikasiya sistemlərində innovativ texnologiyalar” mövzusunda konfrans. 12-13 Aprel (2023) Bakı.
8. “Su təsərrüfatı və mühəndis kommunikasiya sistemlərində innovativ texnologiyalar” mövzusunda konfrans. 8–9 İyun (2023).
9. Ulu öndər Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Elmi-Texniki Konfrans. Bakı 8 –9 İyun (2023).
10. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti. Ümummilli lider Heydər Əliyevin 100 illik yubileyinə həsr olunan Doktorant və gənc tədqiqatçıların Respublika Elmi Konfransı. Bakı, 3-4 May, (2023).

Çap olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işinin nəticələri elmi əsərlərdə dərc olunmuşdur. Onlardan 10-u məqalə (3 məqalə Beynəlxalq bazalarda indeksləşən xarici elmi jurnallarda, 7 məqalə-AAK-ın siyahısına daxil edilmiş respublika jurnallarında), 10-u isə Beynəlxalq və respublika konfranslarında çap olunan məruzələrin tezisi. Çap olunmuş əsərlər dissertasiyanın mahiyyətini tam əks etdirir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin “Təbiət və tullantı

suların təmizlənməsi” laboratoriyasında və İtaliya, Roma şəhəri, La Sapienza Universitenin “Kimya mühəndisliyi materialları mühiti” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Müəllifin şəxsi iştirakı. Dissertasiya işində təcrübi tədqiqatların aparılması, alınan nəticələrin işlənməsi və materialların çapa hazırlanması, əsasən müəllif tərəfindən həyata keçirilmişdir. Həmmüəllif olduğu elmi əsərlərdə müəllifin payı həlledici olmuşdur.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası tərəfindən qoyulan tələblərə uyğun qaydada yazılmışdır. Dissertasiya işi giriş, 4 fəsildən, nəticə, istinad olunan ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Dissertasiya işi giriş (26356 işarə), dörd fəsil (I fəsil-53842, II-13892, III-27954, IV-55770 işarə) və nəticələrdən təşkil olunmuşdur. Dissertasiya işinin standart ölçülü A4 vərəqlə 174 səhifədən ibarətdir. İşdə 23 şəkil, 37 qrafik, 44 cədvəl və 174 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı vardır.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Giriş hissəsində problemin ümumi vəziyyəti təhlil edilmiş, dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda, işin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti vurğulanmış, müdafiə olunacaq əsas müddəalar formalaşdırılmışdır.

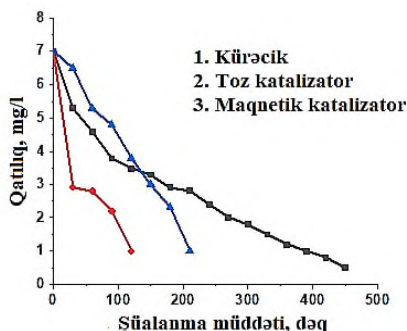
I Fəsildə dissertasiyanın mövzusu üzrə mövcud ədəbiyyat məlumatları təhlil edilmiş, bir sıra nano oksidlərin xüsusi ilə nano TiO_2 -in iştirakı toksiki tullantıların fotokatalitik təmizləmə prosesi tədqiq edilmişdir. Nano TiO_2 -in iştirakı ilə metil mavisinin, lay suyunun və neft şlamlarının UB şüaların təsiri ilə çevrilmə proseslərinin öyrənilməsi nəticəsində tədqiqat işləri təhlil edilmiş və alınmış nəticələr müzakirə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, baxılan işlərdə prosesi xarakterizə edən parametrlər geniş tədqiq edilməmişdir. Bu isə təmizləmə prosesinin energetik çıxımlarını və çevrilmə proseslərində baş verən reaksiyaların kinetik parametrlərini məsələn, kinetik sürət sabitini təyin etməyə

imkan vermir.

II Fəsildə tətqiqat işində istifadə edilən metodikalar və analizlərin aparılma qaydaları verilmişdir. Nümunələrin vakuum qurğusundan istifadə etməklə hazırlanması, UB lampasının təsiri altında şüalandırılması və şüalanmış nümunələrin müxtəlif metodlarla analiz mərhələsini əhatə edir. Birinci qrupa beynəlxalq standartlara uyğun olaraq bir sıra parametrlər - pH, elektrik keçiriciliyi, ümumi həll olunmuş bərk maddələr, duzluluq, şüalanma müddətindən və katalizatorun dozasından asılı olaraq analiz edilmişdir. Fiziki-kimyəvi parametrlərin təyini üçün Beynəlxalq standart metodlar, spektroskopik, xromotaqrafik metodlar, struktur analizlər üçün Nanosizer, SEM, TEM və REM metodlarından istifadə edilmişdir.

III Fəsildə müxtəlif metodlarla modifikasiya edilmiş TiO_2 katalizatoru nümunələrinin sintez üsulları verilmiş, onların müxtəlif tullantı suları mühitində fotokatalitik xassələri öyrənilmiş və bunun əsasında riyazi model qurulmuşdur. Sintez olunmuş nano TiO_2 -dən model metil mavisinin suda məhlulunun, zeytun yağı və metanol istehsalı zamanı əmələ gələn tullantı sularının fotolizi prosesində istifadə edilmişdir.

İlkin olaraq standart məhlul kimi metil mavisindən istifadə edilmişdir. Analitik cəhətdən təmiz metilen mavisindən (kimyəvi reagent Alfa Aesar markası olan kationik boya olan metilen mavisindən (metiltioninium xlorid)) 7 mq/l qatılıqlı məhlul hazırlanmışdır. Metil mavisinin qatılığının təyini üçün dərəcələnmə əyrisi qurulmuş və ona əsasən şüalanma nəticəsində formalaşan qatılıq müəyyən edilmişdir.



Qrafik 1. Müxtəlif metodlarla hazırlanmış katalizatorların istifadəsi ilə metil mavisinin parçalanma qrafiki

Metil mavisinin deqradasiya prosesi şüşə kürələr üzərinə hopdurulmuş TiO_2 , maqnetik TiO_2 və toz halında sintez edilmiş TiO_2 vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir³. Hər üç prosesdə metil mavisinin qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı qrafik 1-də göstərilmişdir. Alınmış nəticələr əsasında müxtəlif üsullarla sintez edilmiş TiO_2 nano katalizatorunun iştirakı ilə aparılmış fotoliz prosesi zamanı, metil mavisinin parçalanma reaksiyasının effektiv sürət sabitləri müqayisə edilmiş və aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 1
Fotoliz prosesi zamanı metil mavisinin parçalanma sürətinin effektiv sürət sabitləri

TiO_2 -nin sintez üsulu	Effektiv sürət sabiti, 1/dəq
Zol-Gel üsulu ilə şüşə kürələr üzərinə hopdurulmuş TiO_2 (reaktorda)	0,00498
Maqnetik üsul ilə sintez edilmiş TiO_2 (kimyəvi stəkanda)	0,01552
Toz halında sintez edilmiş TiO_2 (reaktorda)	0,00684

Cədvəldən göründüyü kimi, metil mavisinin maqnetik üsulu ilə sintez edilmiş TiO_2 -nin fotoliz prosesində ən yüksək effektiv sürət sabiti müşahidə olunur.

Fotokatalitik reaksiyaların birinci dərəcəli kinetikasını təyin etmək üçün istifadə olunan riyazi model aşağıdakı kimidir:

1. Birinci dərəcəli kinetik reaksiya tənliyi.

Fotokatalitik reaksiyalar adətən birinci dərəcəli reaksiyalarla təsvir olunur. Birinci dərəcəli reaksiyalar üçün kinetik tənlik aşağıdakı kimidir:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kt \quad (1)$$

³Ibrahimova, S., Aliyev, F.G., Stoller, M. and Chanese, A. Optimal Configuration of a Photocatalytic Lab-Reactor by Using Immobilized Nanostructured TiO_2 .

Chemical Engineering Transactions, - 2016, -p.199-204.

Burada, C_0 – başlanğıc konsentrasiya, mq/l

C – müəyyən bir anda konsentrasiya, mq/l

k – reaksiya sürət sabiti, $dəq^{-1}$

t – zaman, $dəq$.

Alınan qrafikdən effektiv sürət sabitləri təyin edə bilərik:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = 0,005t \quad (2)$$

Bu halda prosesin riyazi modeli aşağıdakı kimi olacaq:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (3)$$

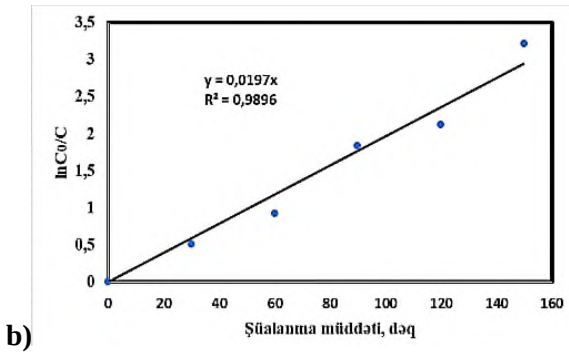
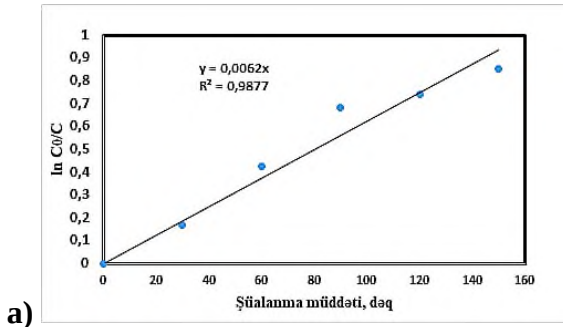
Burada, $k=0,005 \text{ dəq}^{-1}$ -dir.

Əgər başlanğıc konsentrasiya $C_0=7 \text{ mq/l}$ və şüalanma müddəti 200 dəqiqə olarsa, yeni konsentrasiyanı hesablamaq üçün, riyazi modelin ümumi forması belə olacaq:

$$C = 7e^{-0,005 \cdot 200} = 7e^{-1} = 7 \cdot 0,3679 \approx 2,6 \text{ mq/l} \quad (4)$$

Yəni, 200 dəqiqə şüalanmadan sonra metil mavisinin konsentrasiyası təxminən $2,6 \text{ mq/l}$ olacaq.

İlkin təmizlənmə kimi zeytun yağının istehsalı prosesində preslənmiş zeytunlardan qalan bərk qalıqları çökdürmək üçün tullantı suyu Avanti J-20XP markalı sentrifuqa vasitəsilə fırladılmışdır. Sentrifuqanın hər qabına bir litr tullantı suyu doldurulmuş, 7500 rpm sürətlə iki saat fırladılmışdır. Sentrifuqanın qablarından maye faza süzülərək deqradasiya prosesi üçün hazır vəziyyətə gətirilmişdir. Deqradasiya prosesinin kinetik asılılığını öyrənmək üçün OKT parametrindən istifadə edilmişdir. Təcrübələrdə UB və görünən oblastda işıq mənbəyindən istifadə etməklə fotoliz prosesi aparılmışdır. Deqradasiya prosesinin xarakterik xassələri – udulma (Abs) və çevrilmə dərəcəsinin şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmişdir. Uyğun proseslərin effektiv sürət sabitini təyin etmək üçün birinci tərtib reaksiya tənliyindən istifadə etməklə $\ln C_0/C$ parametrinin şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmiş və xətti asılılıqlardan sürət sabiti təyin edilmişdir. Alınmış nəticələr aşağıdakı qrafikdə göstərilmişdir.



Qrafik 2. a) UB şüalandırma b) Közərmə lampası vasitəsilə fotolitik parçalanma reaksiyası sürətinin zamandan asılılıq qrafiki

Müəyyən edildi ki, baxılan oblastda közərmə lampasının istifadəsi deqradasiya sürətinin daha çox artmasına səbəb olur. UB şüalanması zamanı effektiv sürət sabiti $k=0,00625$ (1/dəq), közərmə lampasının şüalanması zamanı effektiv sürət sabiti $k=0,0197$ (1/dəq) təşkil edir. Tədqiqatın nəticəsinin riyazi modeli aşağıdakı kimi olacaq:

Verilmiş qrafikdə zeytun yağı tullantı suyunun fotokatalitik oksidləşmə prosesi nəticəsində çirkləndiricilərin konsentrasiyasının dəyişməsi göstərilir. Göstərilən tənlik və R^2 dəyəri birinci dərəcəli reaksiyanın kinetikasını təsvir edir. Qrafikdə verilən tənlikdən sabiti təyin etsək

$$\ln \frac{C_0}{C} = 0,0197t \quad (5)$$

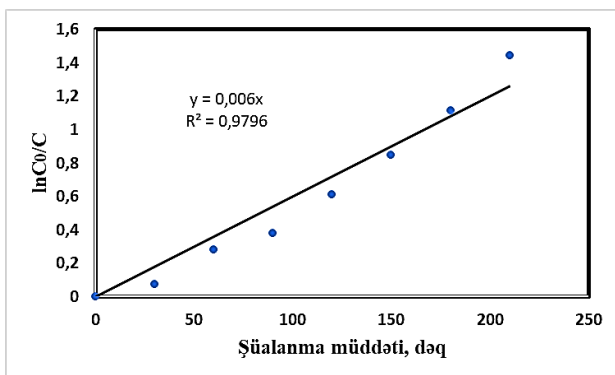
Bu modeldən istifadə edərək istənilən zaman anında (t) suyun

konsentrasiyasını hesablamaq mümkündür. Məsələn, əgər başlanğıc konsentrasiya $C_0=1mq/l$ və şüalanma müddəti 100 dəqiqə olarsa, yeni konsentrasiyanı hesablamaq üçün:

$$C = 1 \cdot e^{-0,0197 \cdot 100} = 1 \cdot e^{-1,97} \approx 0,14 mq/l \quad (6)$$

Yəni, 100 dəqiqə şüalanmadan sonra çirkləndiricinin konsentrasiyası təxminən $0,14 mq/l$ olacaq.

Daha sonra tədqiqat zamanı metanol zavodunun maye tullantılarının zərərsizləşdirilməsi üçün 66 nm ölçülü TiO_2 nanohissəciklərindən istifadə edilmişdir. Sintez edilmiş TiO_2 nanohissəciklərin fiziki parametrləri rentgen difraksiyası Miniflex 600 və SEM analizi üçün JEOL JSM 6610-LV cihazları ilə analiz edilmişdir. İlkin olaraq su nümunəsində OKT miqdarı $350 mq/l$ olmuşdur. 1-210 dəq şüalanma müddətində nümunələr şüalandırılmışdır. Metanolun çevrilmə dərəcəsinin şüalanma müddətindən asılılığı qrafik 3-də verilmişdir.



Qrafik 3. Kinetik əyriyə əsasən hesablanmış birinci tərtib parçalanma reaksiyası üçün $\ln C_0/C=kt$ tənliyinin qrafiki

Göstərilmişdir ki, şüalanma müddəti artdıqca OKT–nin miqdarı kəskin şəkildə azalır, bu isə tullantı suların tərkibindəki üzvi maddələrin parçalanmasını göstərir. Fotoliz nəticəsində üzvi maddələrin deqradasiya dərəcəsi 86% təşkil edir (210 dəq). UB şüalanması zamanı effektiv sürət sabiti $k=0,00685$ 1/dəq təşkil

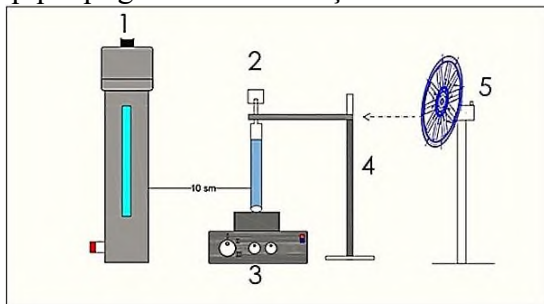
etmişdir⁴.

IV Fəsilə lay sularının fotoliz prosesində qaz fazada və maye fazada əmələ gələn məhsulların yaranmasının və fiziki-kimyəvi parametrlərinin kinetik qanunauyğunluqları öyrənilmişdir.

Tədqiqat işində Azərbaycan Respublikası Qaradağ rayonu Neft-qaz çıxarma idarəsi nəzdində işləyən neft-qaz hasilatı quyularından götürülən lay suyundan istifadə edilmişdir. $V=35$ ml həcmli optik kvardan hazırlanmış ampulalar həm kimyəvi üsullarla, həm də distillə olunmuş su ilə təmizlənərək, $T=873\text{K}$ temperaturda, $t=72$ saat müddətində termiki işlənmişdir.

Ampula soyuduqdan sonra onun daxilinə 30 ml lay suyu və şüalanma müddətində maqnit qarışdırıcıdan istifadə etməklə neft məhsullarının həcmdə bərabər paylanması üçün dəmir barmaqcıq salınmışdır.

Daha sonra vakuum-adsorbsiya qurğusu vasitəsilə nümunə daxilində 10^{-1} Pa təzyiqdə hava qovularaq ampula bağlanmışdır. Ampulalar UB lampadan 10 sm məsafədə, maqnit qarışdırıcı üzərində ştativdə yerləşdirilmişdir. Şüalanma müddətində maqnit qarışdırıcı fasiləsiz olaraq işləmişdir. Şüalanma prosesində UB lampa və ampula ventilyator vasitəsilə temperatura nəzarət edilmişdir. Tədqiqat qurğusunun modeli şəkil 1-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 1. UB lampa vasitəsilə şüalanma prosesinin sxemi.

**1-UB lampa, 2-həcmi 30 ml olan kvarts ampula,
3-maqnit qarışdırıcı, 4-ştativ, 5-ventilyator**

⁴Aliyev, F.G., Hasanova, S.A. Synthesis of titanium dioxide nanoparticles and application to the catalytic removal of methanol from water. Mühəndis sistem və qurğularında ekologiya məsələləri mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. – Bakı, -2019, p. 267-271

İlkin olaraq məhlulun pH göstəricisi, elektrik keçiriciliyi, duzluluq və asılı halda olan hissəciklərin qatılıqlarının müxtəlif şüalanma müddətlərindən asılı olaraq dəyişmə dinamikası öyrənilmişdir^{5,6}.

Cədvəl 2

pH göstəricisi, elektrik keçiriciliyi, duzluluq və asılı halda olan hissəciklərin qatılıqlarının şüalanma müddətindən asılılığı
($\Phi=7,5 \cdot 10^{15}$ kvant /san)

Şüalanma müddəti, dəq	pH	Elektrik keçiriciliyi, mS	Duzluluq, mq/l	ÜHM, q/l
0	7.45	29.53	7900	20.13
30	9.6	10.09	8000	14.18
60	9.4	14.28	8100	9.75
120	9.8	14.20	8100	9.69
240	9.7	13.89	8100	9.87
480	9.1	14.11	7900	9.70

Cədvəldən göründüyü kimi, UB şüalanma nəticəsində götürülmüş nümunələrin pH göstəricisinin artması digər parametrlərin isə qiymətinin azalması müşahidə olunur. Elektrik keçiriciliyi baxılan şüalanma müddəti intervalında təxminən 2 dəfə, duzluluq təxminən 2 dəfə və TDS təxminən 2 dəfə azalır

Fotoliz prosesində maye məhsulları kimi alifatik (normal, izo, tsiklik və doymamış karbohidrogenlər) (C₉-C₁₈) (normal, izo, tsiklik və doymamış karbohidrogenlər) və alifatik (C₁₉-C₃₆), aromatik və PAK-lar (Flüoranten, Benz(b+k)flüoranten, Naftalin, 2-Metilnaftalin, Asenaftilen, Asenaften, Floren, Fenantren, Antrasen, Piren, Benz[a]antrasenlər, Krizenlər, Benzo[a]piren, İndol, Piren+Dibenzo antrasen, Benzo piren) qatılığı xromatagrafik üsulla təyin edilmiş və onların qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmişdir.

⁵Hasanova, S.A., Aliyev, F.G., Gurbanov M.A. Study of photochemical transformations of toxic components of polluted water. Baku Higher Oil School, IV International Scientific Conference of Oil and Gas Geology and EngineeringBaku: SOCAR, -2023. -p.435-437.

⁶Hasanova, S.A., Jafarov, Y.D. Chromatographic determination of gases formed from the decomposition of formed water under the influence of ultraviolet rays // Republican Scientific Conference. – Baku: - 2023, -p.124-127.

Şüalanmış nümunələrdə politsiklik aromatik birləşmələrdən yalnız 2-metilnaftalin və asenaftalin qatılıqları analizin həssaslıq dərəcəsiindən yüksək olduğu üçün müəyyən edilmişdir. Digər politsiklik aromatik karbohidrogenlərin qatılıqları analizin həssaslıq dərəcəsiindən az olduğu üçün qiymətləndirilməmişdir. Eyni mənzərə alifatik karbohidrogenlər üçün də müşahidə olunur⁷. Dərəcələnmə əyrilərinə əsasən uyğun məhsulların qatılıqları müəyyən edilmişdir. Alınmış nəticələr aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 3

Maye məhsulların qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı, mq/l

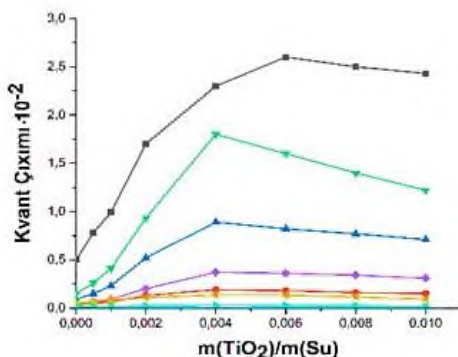
Şüalanma müddəti	Alifatik C ₉ -C ₁₈	Alifatik C ₁₉ -C ₃₆	Aromatik C ₁₁ -C ₂₂	Ümumi karbohidrogenlərin cəmi
İlkin	1,550	2,793	8,647	12,991
30 dəq	2,413	1,878	5,963	10,254
120 dəq	3,284	1,650	3,519	8,453
480 dəq	3,682	1,550	1,850	7,082

Heterogen fazanın fotolizi zamanı birinci mərhələdə müxtəlif miqdar (0,015-0,09 qr) nano-TiO₂-i əlavə edilmiş lay suyunun fotolizinin qaz fazada əmələ gələn məhsullarının kinetikasi öyrənilmişdir. Kvars materialdan hazırlanmış ampulalar (6 ədəd) distillə suyu ilə 3-4 dəfə yuyulub 350-400 °C temperaturda saxlanılmışdır. Ampulalara uyğun olaraq 0,015 qr, 0,03 qr, 0,06 qr və 0,09 qr 21 nm ölçülü TiO₂ əlavə edilmişdir. Yenidən ampula yuxarıdakı şəraitdə qızdırıldıqdan sonra ora 30 ml nümunə suyu əlavə edilir. Nümunələr müxtəlif saatlarda şüalandırılmış və alınmışdır ki, pH, elektrik keçiriciliyi, duzluluq və ÜHM parametrlərinin şüalanma müddətindən asılı olaraq zəif dəyişikliyi müşahidə olunur. Alınmış kinetik əyrilər baxılan şüalanma vaxtı intervalında zamandan asılı olaraq qatılığın qeyri-xətti olaraq artdığını göstərir.

⁷Hasanova, S.A., Aliyev F.G., Gurbanov M.A., Jafarov Y.D.. Study of the chemical processes occurring in the gas phase as a result of photolysis of produced waters under the ultraviolet rays' influence. PPOR, - Baku: -2023. №4. -p. 260-267.

Müəyyən edilmişdir ki, TiO_2 -nin miqdarı artdıqca hidrogenin və C_1 - C_5 kvant çıxımı artır və TiO_2 -nin böyük miqdarlarında doyma müşahidə olunur. TiO_2 –nin miqdarı 0,015 qr-dan 0,12 qr-a qədər artdıqca C_6 - C_9 -nin sərfi prosesinin kvant çıxımları artır.

TiO_2 -nin müxtəlif qiymətlərində yaranan qaz məhsulların qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, H_2 -nin yaranma sürəti sistemə daxil edilən TiO_2 -nin miqdarı artdıqca artır. Alınmış ayrılardan H_2 yaranmasının kvant çıxımı $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ nisbətindən asılı olaraq hesablanmışdır. Digər qaz məhsullarının da CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_3 , C_4 , C_5 ilkin yaranma sürəti TiO_2 -nin miqdarından asılı olaraq artır. Lakin H_2 -nin yaranmasından fərqli olaraq digər karbohidrogenlərin kvant çıxımının $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ nisbətindən asılılığı maksimum ilə xarakterizə olunur və bu maksimum qiymət nisbətən 0,005 qiymətində müşahidə olunur.



Qrafik 4. Karbohidrogenlərin kvant çıxımının $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ nisbətindən asılılıq qrafiki

Bu dəyişiklikləri təsvir etmək üçün riyazi modellər tətbiq edə bilərik. Hər bir komponent üçün qatılığın şüalanma müddətinə bağlı olaraq necə dəyişdiyini göstərən eksponensial və ya xətti modellər uyğun ola bilər.

Alifatik C_9 - C_{18} üçün eksponensial model:

$$C_{\text{C}_9-\text{C}_{18}}(t) = C_0 e^{kt} \quad (7)$$

Burada, $C_{\text{C}_9-\text{C}_{18}}(t)$ –şüalanma müddətində C_9 - C_{18} alifatik karbohidrogenlərin qatılığı, C_0 –başlanğıc qatılıq ($1,55 \text{ mq/l}$), k –

reaksiya sürət sabiti (təyin edilməlidir), t-şüalanma müddəti.

Hər bir komponent üçün oxşar modelləri tətbiq edərək kvant çıxımları və reaksiyaların sürət sabitlərini müəyyən edərək ümumi karbohidrogenlərin cəmi üçün bir model qurmaq mümkündür. Bu model, nəticələri dəqiqliklə təsvir etmək üçün şüalanma müddətindən asılı olan qatılıqları proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər. İlk növbədə, eksponensial modeli tətbiq edərək, hər bir komponent üçün k dəyərlərini təyin edək.

Alifatik C_9-C_{18} üçün;

$$\ln C_{C_9-C_{18}}(t) = \ln(C_0) + kt \quad (8)$$

Başlanğıc $t=0$ dəq; $C_0=1,55$ mq/l 30 dəqiqə sonra $t=30$ dəq

$$\ln(2,413) = \ln(1,55) + 30k \quad (9)$$

$$k = 0,0147 \text{ dəq}^{-1} \quad (10)$$

Alifatik $C_{19}-C_{36}$ üçün;

$$\ln C_{C_{19}-C_{36}}(t) = \ln(C_0) + kt \quad (11)$$

Başlanğıc $t=0$ dəq; $C_0=2,793$ mq/l 30 dəqiqə sonra $t=30$ dəq

$$\ln(1,878) = \ln(2,793) + 30k \quad (12)$$

$$k = -0,0133 \text{ dəq}^{-1} \quad (13)$$

Hər bir komponent üçün oxşar modelləri tətbiq edərək kvant çıxımları və reaksiyaların sürət sabitlərini müəyyən edərək ümumi karbohidrogenlərin cəmi üçün bir model qurmaq mümkündür. Bu model, nəticələri dəqiqliklə təsvir etmək üçün şüalanma müddətindən asılı olan qatılıqları proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər.

Alifatik C_9-C_{18} üçün:

$$C_{C_9-C_{18}}(t) = 1,55e^{0,0147t} \quad (14)$$

Alifatik $C_{19}-C_{36}$

$$C_{C_{19}-C_{36}}(t) = 2,793e^{-0,0133t} \quad (15)$$

Aromatik $C_{11}-C_{22}$

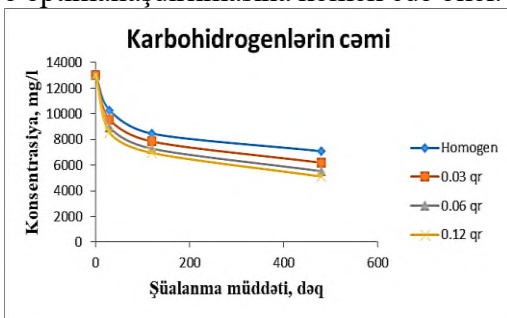
$$C_{C_{11}-C_{22}}(t) = 8,647e^{-0,0123t} \quad (16)$$

Ümumi karbohidrogenlərin cəmi

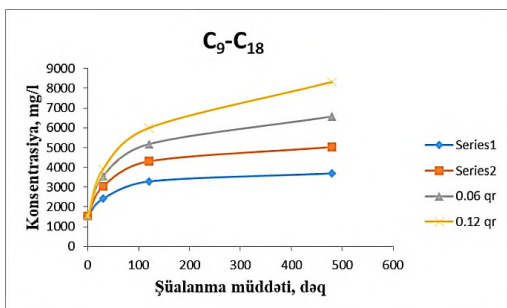
$$C_{C_9-C_{36}}(t) = 12,991e^{-0,0078t} \quad (17)$$

Verilən məlumatlara əsasən, eksponensial və xətti modelləri tətbiq edərək fotoliz prosesində alifatik və aromatik karbohidrogenlərin şüalanma müddətinə bağlı olaraq necə dəyişdiyini izah edən riyazi

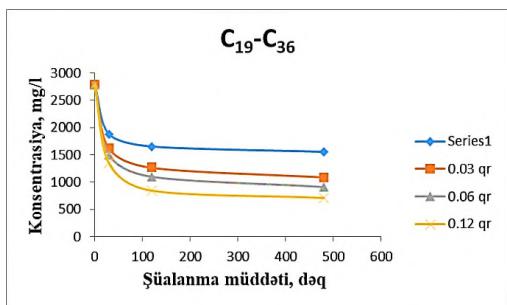
modellər qurmaq mümkündür. Bu modellər, prosesin daha yaxşı anlaşılmasına və optimallaşdırılmasına kömək edə bilər.



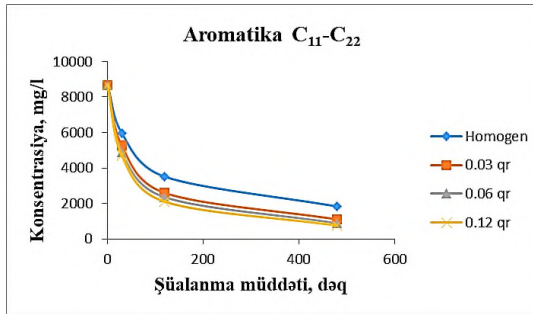
Qrafik 5. Karbohidrogenlərin cəminin şüalanma müddətindən asılılıq qrafiki



Qrafik 6. C₉-C₁₈ alifatik karbohidrogenlərin qatılığının şüalanma müddətindən asılılıq qrafiki

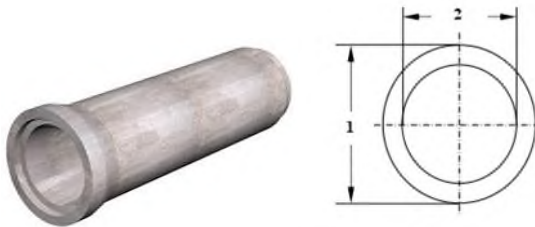


Qrafik 7. C₁₉-C₃₆ alifatik karbohidrogenlərin qatılığının şüalanma müddətindən asılılıq qrafiki



Qrafik 8. $C_{11}-C_{22}$ aromatik karbohidrogenlərin qatılığının şüalanma müddətindən asılılıq qrafiki

Tullantı suları təmizləmə qurğusunun texnoloji prosesinə uyğun olaraq çəndə toplanan suları dəmir-beton konstruksiyalı D1800 mm borularla (borunun divar qalınlığının 250 mm olduğunu nəzərə alsaq, daxili diametri D1300 mm olur) birbaşa nasos vasitəsi ilə iri ölçülü barmaqlıq və nasos stansiyasına ötürülür. Dəmir-beton konstruksiyalı borunun görüntüsü şəkil 2-də verilmişdir.

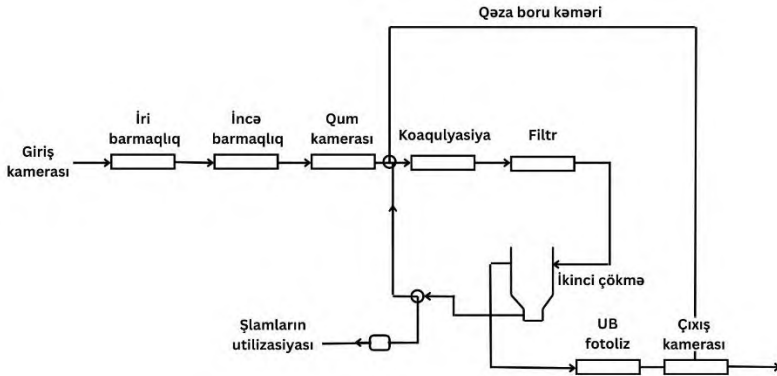


Şəkil 2. Dəmir-beton konstruksiyalı borunun görüntüsü və ölçüləri; 1-D1800 mm, 2-D1300 mm

İri ölçülü barmaqlıq sahəsində tullantı suların tərkibindən asanlıqla yığıla bilən tullantı materialları (ölçüləri 30 mm-dən yuxarı) tutulur. Daha sonra barmaqlıqlardan çıxan tullantı suları toplama kamerasına ötürülür. Toplama kamerasında nasoslar quraşdırılmışdır və bu nasoslar vasitəsilə təzyiqli xətlərlə (D700 mm və D400 mm) tullantı suları xırdaölçülü barmaqlıq və qumtutucu qurğularının giriş kamerasına ötürülür.

Tullantı suları özü axımla giriş kamerasından incə barmaqlıqlar kamerasına daxil olur. Burada tullantı suların tərkibindəki 10 mm-dən yuxarı hissəciklər tutulub saxlanılır.

İstehsalat proseslərinin ardıcılıq sxemi (prinsipial sxem) şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. İstehsalat prosesinin ardıcılıq sxemi

Sxemdə göstərilirdiyi kimi, ilkin olaraq mexaniki təmizləmə qurğularından (iri və xırdaölçülü barmaqlıqlardan) keçən tullantı suları növbəti mexaniki təmizləmə qurğularına, qum və yağ tutucu qurğulara daxil olur. Daha sonra tullantı suları 900 mm diametrli borularla axınölçmə kamerasına, oradan da koaulyasiya və filtrasiya kamerasına ötürülür. Təmizləmə prosesinin daha da effektivini təmin etmək məqsədilə alüminium sulfat və ya digər tərkibli koaulyant məhlulundan istifadə nəzərdə tutulmuşdur. Emal proseslərindən sonra tullantı suları özüaxımla 1100 mm diametrə malik boru ilə durulducuların paylayıcı kamerasına daxil olur. Paylayıcı kamerada tullantı sular durulduculara ötürülür. Durulducularda aktiv lil bərk maddələri qarışıq mayelərdən ayrılaraq diskli filtrə ötürülür.

Diskli filtrdə təmizlənən tullantı suları daha sonra, emal proseslərinin sonunda daha dərin təmizləmə prosesinin həyata keçirilməsi məqsədi ilə ultrabənövşəyi şüalanma kamerasına ötürülərək burada fotokatalitik yolla təmizlənmə prosesi həyata keçirilir.

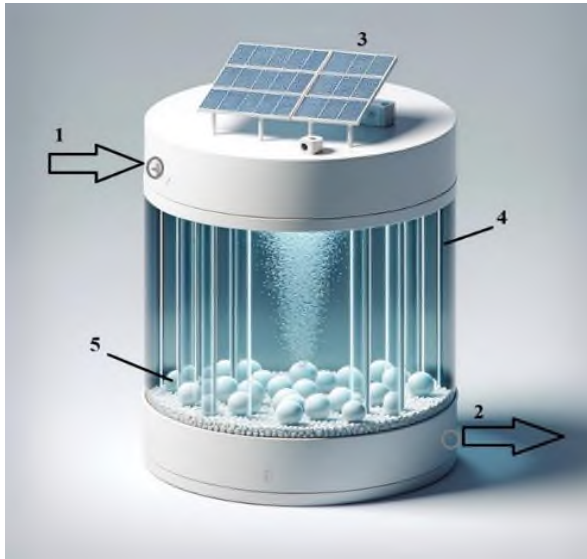
Aldığımız nəticələr əsasında 1 ton lay suyunun fotokatalik yolla təmizlənməsi zamanı tələb olunan enerjinin qiyməti aşağıdakı metodika ilə hesablanır:

İstifadə edilən 20Vt gücündə cıvə lampası 3,5 saat 30 ml suyu şüalandırmaq üçün istifadə edildikdə lay suyunun 90% təmizlənmə dərəcəsini nəzərə alaraq elektrik şəbəkəsindən $20 \cdot 3,5 \text{Vt} \cdot \text{saat} = 70 \text{ Vt} \cdot \text{saat} = 0,07 \text{ kVt} \cdot \text{saat}$ enerji sərf edilmiş olur. Onda, 1t lay suyunun təmizlənməsi üçün sərf olunan elektrik enerjisinin miqdarı $0,07 \text{ kVt} \cdot \text{saat} \cdot 10^6 \text{ ml} / 30 \text{ ml} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ kVt} / \text{saat}$ təşkil edir. Bu qədər enerjini lampa laboratoriya şəraitində 3,5 saat müddətində istifadə edir. Bu müddəti azaltmaq üçün daha güclü cıvə lampalarından istifadə etmək zərurəti yaranır. Sənaye miqyasında istifadə edilən cıvə lampaları aşağı, orta və yüksək təzyiqli olmaqla üç qrupa bölünür. Orta təzyiqli UB lampalar xüsusi soyutma sistemi tələb etmədiyindən onların istifadəsi texniki cəhətdən daha əlverişlidir. Məsələn, 150 Vt gücündə cıvə lampaları sənaye miqyasında istifadə olunur. Bu lampanın gücü laboratoriya şəraitində istifadə edilən lampanın gücündən $150/20=7,5$ dəfə böyükdür. Bu halda 1 lampa istifadə edildikdə təmas müddətində 90% təmizlənmə dərəcəsi almaq üçün təmas müddəti 3,5 saatdan 7,5 dəfə az ola bilər. Yəni, 0,46 saat yaxud 28 dəqiqə təşkil edir. Təmas müddətini daha da kiçiltmək üçün lampaların sayını çənlərin konstruksiyasına görə artırmaq olar. Lakin konkret hesablama sənaye miqyası üçün nəzərdə tutulan sənaye çənlərinin konstruksiyasına görə hesablanmalıdır. Cıvə lampalarının fotokimyəvi korroziyası və səthinin çirklənmə dərəcəsini azaltmaq üçün bu lampaların su mühitindən kvars arakəsmə ilə ayrılması zəruridir.

Baxılan işdə UB lampaların istifadəsi zamanı aşağıdakı şəraitə uyğun seçilmiş tullantı sularının fotokatalitik təmizləmə prosesinin bəzi parametrləri hesablanmışdır.

Təklif olunan qurğunun prinsipial sxemi şəkil 4-də verilmişdir.

Tələb olunan enerjinin alternativ mənbələrdən günəş və külək qurğularından alınması fotokatalik metodun enerji səmərəliliyini artırmaqla bilər. Bu lampaların qidalanmasının şəbəkənin elektrik enerjisi ilə yox, alternativ enerji mənbələrindən (külək və günəş qurğularından) istifadə etməklə həyata keçirilməsi yuxarıda qeyd edildiyi kimi fotokatalik metodun iqtisadi səmərəliliyini artırmaqla bilər.



Şəkil 4 . Təmizləmə qurğusunun prinsipial sxemi:
1 - suyun girişi, 2 - suyun çıxışı, 3 - günəş paneli, 4 - UB lampası,
5 - N-TiO₂ katalizatoru

$2,3 \cdot 10^3$ kVt/saat enerji üçün lazım olan günəş panellərinin sayını hesablamaq üçün bəzi məlumatlara ehtiyacımız var:

1. Hər bir günəş panelinin gücü (adətən vatt (Vt) və ya kilovatt (kVt) ilə ölçülür).

2. Günəş panelinin ildə neçə saat işləyəcəyini nəzərə almaq lazımdır (işləmə saatları günəş şüalarının mövcudluğuna və coğrafi mövqeyə görə dəyişir).

Tələb olunan enerjinin - $2,3 \cdot 10^3$ kVt/saat = 2300000 Vt/saat, günəş panellərinin gücü və işləmə saatları müxtəlif ola bilər, amma standart bir günəş panelinin gücünü 300 Vt qəbul etsək (illik işləmə saatları üçün ortalama bir qiymət 1500 saat ola bilər (bu, coğrafi mövqedən asılıdır və ortalama bir qiymətdir) illik enerji istehsalı aşağıdakı düstur vasitəsi ilə hesablanır:

$$\begin{aligned} \text{İllik enerji istehsalı} &= 300 \text{ Vt} \cdot 1500 \text{ saat} = \\ &= 450000 \text{ Vt} \cdot \text{saat} = 450 \text{ kVt} \cdot \text{saat} \end{aligned} \quad (18)$$

Lazım olan günəş panellərinin sayını aşağıdakı qaydada hesablamaq olar:

$$\text{Lazım olan panellərin sayı} = 2300000 \text{ Vt} \cdot \text{saat} / 450000 \text{ Vt} \cdot \text{saat} = 5 \text{ ədəd} \quad (19)$$

Bu hesablamadan sonra, təxminən hər birinin gücü 300 Vt olan 5 günəş paneli lazım olacaq.

Cihaz buludlu günlərdə və soyuq mövsümdə çatışmayan istiliyi təmin edən mexaniki sistemə quraşdırılmış konsentrasiyalı günəş modullarından hazırlanmış günəş panelləri ilə, çənin dibi isə elektrik qızdırıcısı ilə təchiz edilmişdir. Bu qızdırıcı günəş paneli tərəfindən yığılan əlavə enerji hesabına işlədilir.

1 ton həcmə malik olan çənin optimal qabarit ölçüləri isə aşağıdakı qaydada hesablanır:

$$D = 0,8 \text{ m (radius } 0,4 \text{ m)} \quad V = \pi \cdot (0,4^2) \cdot h \quad (20)$$

Buradan $h \approx 2 \text{ m}$ olduğu tapılır.

Baxılan şəraitdə N-TiO₂ ilə örtülmüş kvars kürəciklərin miqdarı və ölçüləri təcrübi olaraq təyin edilməlidir. Əsas şərt bu kürəciklərin konteyner daxilində suspenziya halında bərabər paylanmasıdır. Bu şərait konteynerin yuxarı hissəsində diametri kürəciklərin diametrindən kiçik olan diafraqmalı örtüyün olması ilə əldə edilir.

Texniki göstəricilər əsasında iqtisadi qiymətləndirmə aşağıdakı kimidir:

1. Təmizləmə prosesi üçün enerji sərfi

Enerji sərfi: 1 ton lay suyunun təmizlənməsi üçün 2300 kVt·saat enerji tələb olunur.

Elektrik enerjisinin qiyməti: Əgər elektrik enerjisinin dəyəri 1 kVt·saat = 0,1 AZN qəbul edilərsə:

$$2300 \text{ kVt} \cdot \text{saat} \cdot 0,1 \text{ AZN} = 230 \text{ AZN} \quad (21)$$

Bu, bir ton lay suyunun təmizlənməsi üçün tələb olunan elektrik xərci 230 AZN olacaq.

2. Bir panelin qiyməti

Əgər bir günəş paneli 500 AZN olarsa:

$$5 \text{ panel} \cdot 500 \text{ AZN} = 2500 \text{ AZN} \quad (22)$$

3. Lampa parametrləri

Civə lampasının uzunluğu və diametri, yerləşdirmə qaydasını təyin edir. Orta təzyiqli 150 Vt UB lampalarının

diametri təxminən 40÷60 sm olur. Çənə lampalar şaquli və ya üfüqi şəkildə yerləşdirilə bilər. Əgər şaquli yerləşdirilərsə, çənin dərinliyi lampaların uzunluğundan böyük olmalıdır. Lampalar bir-birindən 5÷10 sm məsafədə yerləşdirilməlidir ki, onlar effektiv işıqlandırma təmin edə bilsin və həddindən artıq qızmasın.

Lampaların sayını aşağıdakı qaydada tapa bilərik:

Çənin alt sahəsi:

$$S = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,4^2 = 0,5024 \text{ m}^2 \quad (23)$$

Hər bir lampanın yerləşdiyi dairəvi ərazi (minimal məsafə ilə birlikdə):

$$S = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,05^2 = 0,00785 \text{ m}^2 \quad (24)$$

Çənin alt sahəsində yerləşən lampaların sayı:

$$n = \frac{0,5024}{0,00785} = 64 \text{ ədəd} \quad (25)$$

Ortalama civə lampasının qiyməti lampanın gücünə, təzyiq növünə (aşağı, orta və ya yüksək təzyiqli), markasına və keyfiyyətinə görə dəyişir. Orta təzyiqli 150 Vt civə lampası üçün qiymətlər belədir:

Laboratoriya şəraitində istifadə olunan lampalar: 50÷100 AZN.

Sənaye miqyasında istifadə üçün nəzərdə tutulan yüksək keyfiyyətli lampalar: 100÷300 AZN ola bilər.

Təxmini qiyməti 150 AZN qəbul edə bilərik. Daha dəqiq qiymət üçün lampanın konkret modeli və xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilməlidir.

$n = 64 \text{ ədəd olduqda, lampaların cəmi qiyməti}$

$$64 \cdot 150 \text{ AZN} = 9600 \text{ AZN}$$

4.Çənin qiyməti: Sənaye çənlərinin qiyməti materialdan və konstruksiyadan asılıdır. Əgər 1 m³ həcmi olan paslanmayan poladdan hazırlanmış çənin təxminən qiyməti 1000 AZN qəbul edilərsə, bu məbləğ ümumi xərcə əlavə olunacaq.

Ümumi başlanğıc xərc:

Elektrik şəbəkəsi ilə enerji sərfi (əgər istifadə edilərsə):
230 AZN

Günəş panelləri: 2500 AZN.

Çən: 1000 AZN.

Lampalar: 9600 AZN

Digər qurğular (civə lampaları, soyutma sistemi, konstruksiya): Təxminən 2000 AZN.

Texniki xidmət və ehtiyat hissələri üçün illik xərc:
Təxminən 5% başlama dəyəri (təqribən 275 AZN).

$230+2500+1000+9600+2000+275=15605$ AZN

Aparılmış hesablamaların nəticəsi olaraq qeyd etmək olar ki, 1 ton lay sularının təmizlənməsi üçün ilkin olaraq fotokatalitik təmizləmə mərhələsində 15605 AZN tələb olunur. Bu hesablamalar texniki göstəricilərə əsaslanır və sənaye miqyasında əlavə detallı araşdırma tələb edə bilər.

NƏTİCƏLƏR

1. Tədqiqat işində müxtəlif növ sənaye tullantı sularının (Zeytun yağı istehsalı, metanol istehsalı və neft-qaz çıxarılması zamanı əmələ gələn lay sularının) tərkibi kompleks şəkildə öyrənilmiş, müəyyən edilmişdir ki, bu suların tərkibində üzvi birləşmələr üstünlük təşkil edir [1], [5], [9].

2. Üzvi birləşmələr ilə çirklənmiş sənaye tullantı sularının təmizlənməsi prosesində tətbiq edilən metodikalar araşdırılmış və müasir təmizləmə texnologiyası olan fiziki-kimyəvi metod seçilmişdir. Katalizator kimi istifadə edilmiş nano TiO_2 -nin morfoloji quruluşu öyrənilmiş, model sistem üzərində parçalanma prosesinin qanunauyğunluqları tədqiq edilərək təmizləmə prosesinin riyazi modeli tərtib edilmişdir [2], [4], [10].

3. Lay sularının UB şüa mənbəyindən istifadə edərək fotolizi öyrənilmiş, qaz fazada əmələ gələn məhsulların kvant çıxımlarının $0,5 \cdot 10^{-2}$ – $0,04 \cdot 10^{-5}$ molekul/kvant aralığında dəyişdiyi müşahidə edilmişdir. Fotoliz zamanı toksiki komponentlərin parçalanması, oksidləşməsi və yaranan məhsulların çevrilməsindən ibarət 3 mərhələli təmizləmə prosesi baş verdiyi müəyyən edilmişdir. UB şüalanma nəticəsində götürülmüş nümunələrin pH göstəricisinin artması, elektrik keçiriciliyi, duzluluq və ÜHM-nin qiymətinin təxminən 2 dəfə azalması müşahidə edilmişdir [14], [17], [18], [20].

4. Lay suyuna nano TiO_2 əlavə edildikdə, sistemdə UB şüaların təsirlə gedən fotoliz prosesindən qaz fazada əmələ gələn məhsulların kvant çıxımları $0,07 \cdot 10^{-2}$ – $0,42 \cdot 10^{-5}$ molekul/kvant təşkil edir. Nano TiO_2 -nin miqdarının artması uyğun proseslərin kvant çıxımlarının müəyyən qiymətə qədər artmasına və stasionar qiymətin yaranmasına səbəb olur. Fotoliz prosesindən alınan bərk qalıqlar İQ-spektroskopik metodla analiz edilmiş, göstərilmişdir ki, müşahidə olunan udma zolaqlarının intensivliyi udulan enerji (şüalanma müddətindən asılı olaraq) artdıqca artır [14], [17], [18], [20].

5. Heterogen prosesdə maye məhsulların qatılığının şüalanma müddətindən asılı olaraq C_9 – C_{18} -nin miqdarı artır, C_{19} – C_{36} və aromatik birləşmələrin qatılığı (C_{11} – C_{22}) şüalanma müddətindən asılı olaraq azalır. Belə ki, 0,12 qr TiO_2 -nin istifadəsi zamanı şüalanma müddətində

ağır karbohidrogenlərin 75%, aromatik birləşmələrin isə 92% parçalanması baş vermişdir. Təmizləmə prosesinin effektivliyini özündə əks etdirən sxemin riyazi modeli tərtib edilmişdir [13], [19].

6. Yeni işlənmiş texnologiya əsasında alternativ enerji mənbəyindən istifadəyə əsaslanan təmizləmə qurğusunun texnoloji sxemi işlənmiş və tətbiq üçün təklif edilmişdir.

7. Yeni texnologiyanın tətbiqi zamanı həcmi 1 ton olan qurğuda tələb olunan enerji sərfini günəş panelləri ilə əvəzlədikdə tələb olunan ümumi xərcin fotokatalitik təmizləmə mərhələsində 15605 AZN olduğu hesablanmışdır. Bu isə texnoloji cəhətdən mümkün və iqtisadi cəhətdən daha səmərəli olan üsulun seçilməsi üçün zəmin yaradır.

Dissertasiya işinin mövzusunə dair dərc olunmuş elmi əsərlərin siyahısı

1. Ibrahimova, S., Aliyev, F.G., Stoller, M. and Chanese, A. // Optimal Configuration of a Photocatalytic Lab-Reactor by Using Immobilized Nanostructured TiO₂ // Chemical Engineering Transactions, - Italy: The Italian Association of Chemical Engineering, - 3 May, - 2016, -p.199-204.
2. Aliyev, F.G. İnstiagtion of the application of TiO₂ nano-catalyst for the removal of oil and oil products from the petroleum industry wastewater / V.M. Shamilov, H.Kh. Khalilova, A.I. Abdullayev, F.F. Aliyev, S.A. Hasanova // Eko Energetika jurnal, - Baku: - 2017. №4, – p. 5-13.
3. Həsənova, S.A. Titan dioksid fotokatalizatorunun tətbiq sahələri və onun müxtəlif birləşmələrinin praktiki əhəmiyyəti //– Bakı: Elmi Əsərlər, -2018. №1, – s. 90-93.
4. Hasanova, S.A. Improving the photocatalytic activity of different modifications of TiO₂ // - Baku: Journal of Low Dimensional Systems, - 2018. № 2, -p. 57-61.
5. Khalilova, H.K., Hasanova, S.A., Aliyev, F.G. Photocatalytic Removal of Organic Pollutants from Industrial Wastewater Using TiO₂ Catalyst // - Baku: Journal of Environmental Protection, - 2018. № 9, -p. 691-698.
6. Aliyev, F.G., Hasanova, S.A. Synthesis of titanium dioxide nanoparticles and application to the catalytic removal of methanol from water // – Bakı: Mühəndis sistem və qurğularında ekologiya məsələləri mövzusunda beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. – Bakı, -2019, p. 267-271
7. Aliyev, F.G., Hasanova, S.A. Photocatalytic substances in environmental remediation // Journal of Low Dimensional Systems. – Baku, -2019, № 1, -p. 39-42
8. Hasanova, S.A. Synthesis of titanium dioxide nanoparticles for photocatalytic degradation of cod in wastewater under ultraviolet irradiation // International Conference Modern Trends in Physics. -Baku: Baku State University. - 2019, -p. 86.
9. Həsənova, S.A. Çirkab suların təmizlənməsində strukturlaşmış

- fotokatalizatorun istifadəsi // Doktorantların və Gənc tədqiqatçıların XXIII Respublika Elmi Konfransı. Böyük Azərbaycan şairi İmadəddin Nəsiminin 650 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans, -Bakı: Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, - 2019, -s.216-219.
10. Hasanova, S.A. Compare the efficiency of TiO_2 and N-Doped TiO_2 to degrade BTEX // -Baku: Advanced Physical Research, Vol.3, 2021, -p123-128.
 11. Aliyev, F.G., Hasanova, S.A., Mammadova, L.G., Orujova, A. Monitoring of the Caspian toxic-radio ecological situation during oil-gas fields // Environmental Remediation Conference. Spain: Granada, -2022, -p. 38-42.
 12. Hasanova, S.A. Photocatalytic degradation of petroleum hydrocarbons using TiO_2 Nanoparticles // Modern Scientific Technology International Scientific Conference. Sweden: Stockholm, - 2022, -p. 213-229.
 13. Hasanova, S.A. Monitoring of the composition of produced water used in the process of oil extraction / F.G. Aliyev, M.A. Gurbanov, Y.D. Jafarov // Eco Energitika Elmi-texniki jurnal, - Bakı: -2023. №1, -p.87-91.
 14. Həsənova, S.A., Əliyev, F.Q., Qurbanov M.Ə. Çırpılmış suyun toksiki komponentlərinin fotokimyəvi çevrilmələrinin tədqiqi // Bakı Ali Neft Məktəbi, Azərbaycan Xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin 100 illik Yubileyinə həsr olunmuş Neft-Qaz Geologiyası və Mühəndisliyi, Tələbə və Gənc Tədqiqatçıların IV Beynəlxalq Elmi Konfransı. – Bakı: SOCAR, -2023. -s.435-437.
 15. Hasanova, S.A., Aliyev, F.G. Study of chemical processes occurring in reservoir waters under the influence of UV rays // “Su təsərrüfatı və mühəndis kommunikasiya sistemlərində innovativ texnologiyalar” mövzusunda konfrans. – Bakı: AzMIU, -2023, -p.93-94.
 16. Cəfərov Y.D., Əliyev F.Q., Həsənova S.A., Ramazanova N.K., Həsənov S.H. γ -kvantların təsiri ilə nano- $\text{BeO}_2/\text{H}_2\text{O}$ sistemində suyun radiolizindən molekulyar hidrogenin alınması mexanizmləri // “Su təsərrüfatı və mühəndis kommunikasiya sistemlərində innovativ texnologiyalar” mövzusunda konfrans. –

Bakı: AzMIU, -2023, -p.95-97.

17. Həsənova, S.A., Əliyev, F.Q., Qurbanov, M.A., Cəfərov, Y.D., Şəfiyeva, Ş.M. Lay sularının fotoliz prosesinin UB spektroskopik üsulla tədqiqi // Radiasiya Texnologiyaları və onun tətbiqi. Ulu öndər Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Elmi-Texniki Konfrans. – Bakı: - 2023, -s.182-183.
18. Həsənova, S.A., Cəfərov, Y.D. Ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında lay sularının parçalanmasından əmələ gələn qazların xromatoqrafik təyini // Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illik yubileyinə həsr olunan Doktorant və gənc tədqiqatçıların Respublika Elmi Konfransı. – Bakı: - 2023, -s.124-127.
19. Hasanova, S.A. Study of the chemical processes occurring in the gas phase as a result of photolysis of produced waters under the ultraviolet rays' influence / F.G. Aliyev, M.A. Gurbanov, Y.D. Jafarov // PPOR, - Bakı: -2023. №4. -p. 260-267.
20. Həsənova, S.A., Məmmədova, L.H. Ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında heterogen fazada lay sularının fotolizindən əmələ gələn qazların təhlili // -Bakı: Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Elmi Əsərlər jurnalı, -2024. №2, -s.82-86

Çap edilmiş işlərdə iddiaçının şəxsi töhvəsi:

[3-4, 8-10, 12] - sayılı elmi işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[1-2, 5-7, 11, 13-20] - sayılı elmi işlərdə məsələnin həlli, toplanmış məlumatların təhlili, təcrübələrin aparılması müəllif tərəfindən, məsələnin qoyuluşu və əldə olunan nəticələrin işlənməsi isə həmmüəlliflərlə birgə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi "05" iyun 2025-ci il tarixində saat 11:00-da Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.37 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BFD 2.37/1 Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, Ayna Sultanova küç., 11, AzMIU, II korpus, III mərtəbə, akt zalı.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat "01" may 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.



Çapa imzalanıb:

Kağızın formatı: 64x80^{1/16}

Həcm: 36879 işarə

Tiraj: 100 nüsxə