

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

İŞÇİ AGENTLƏRİN MÜASİR ANALİZ ÜSULLARINA ƏSASLANARAQ QUYUDİBİ ZONANIN İZOLYASIYASI VƏ MÖHKƏMLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN YENİ METODLARIN İŞLƏNİLMƏSİ VƏ TƏTBİQİ

İxtisas: 2525.01 – “Neft və qaz yataqlarının
işlənməsi və istismarı”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Axmed Doletbiyevic Şovgenov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

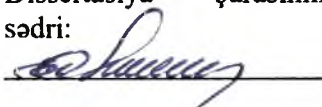
Bakı – 2026

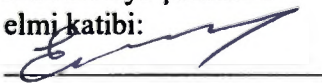
Dissertasiya işi SOCAR-ın "Neftqaz elmi tədqiqat layihə" İnstitutunun Analitik Tədqiqatlar Laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
Bağır Ələkbər oğlu Süleymanov

Rəsmi opponətlər: Texnika elmləri doktoru, dosent
Nahidə İsmət qızı Hüseynova
Texnika elmləri doktoru, dosent
Eldar Mehdi oğlu Abbasov
Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Yevgeniya Vladimirovna Məmmədova

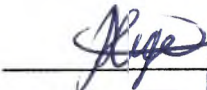
Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:  Texnika elmləri doktoru, professor
Elman Xeyrulla oğlu İskəndərov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:  Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Yelena Yevgenyevna Şmonçeva

Elmi seminarın sədri:  Texnika elmləri doktoru, dosent
Natiq Neyman oğlu Həmidov

İmzaları təsdiq edirəm: ADNSU-nun Elmi katibi, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

 **İbrahim Namiq oğlu Əliyev**



İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi

Müasir neft və qaz hasilatı şəraitində quyuların səmərəli istismarını təmin edən əsas amillərdən biri su axınının etibarlı şəkildə təcrid edilməsi və quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsidir. Quyulara su axını quyu debitinin azalmasına, hasil edilən məhsulun keyfiyyətinin pisləşməsinə və istismar xərclərinin artmasına səbəb olur.

Mövcud təcrid və möhkəmləndirmə üsulları, xüsusilə mürəkkəb geoloji-texniki şəraitdə, heç də həmişə tələb olunan davamlılığı və səmərəliliyi təmin etmir.

Dissertasiya işində su axınının məhdudlaşdırılması və quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi məqsədilə quyularda aparılan əməliyyatların təkmilləşdirilməsi aşağıdakı istiqamətlər üzrə nəzərdən keçirilmişdir:

- nanoölçülü əlavələrin və polimer kimyəvi birləşmələrin tətbiqi yolu ilə quyudibi zonanın kimyəvi üsullarla möhkəmləndirilməsinin səmərəliliyinin artırılması;

- nanokompozit polimer kompozisiyalarının tətbiqi və onların tətbiq diapazonunun genişləndirilməsi yolu ilə su axınının məhdudlaşdırılması texnologiyalarının səmərəliliyinin artırılması.

Quyudibi zonada zəif sementləşmiş layların möhkəmləndirilməsi üçün müxtəlif kimyəvi birləşmələrin tətbiqi kifayət qədər geniş yayılmış təcrübə olsa da, nanoölçülü əlavələrdən istifadə bu üsulların tətbiq diapazonunu əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirməyə imkan verir.

Müxtəlif gel əmələ gətirən tərkiblərdən istifadə etməklə su axınının məhdudlaşdırılması müasir neft-qaz sənayesində kifayət qədər geniş yayılmışdır. Bununla belə, bir sıra texnoloji problemlər ənənəvi texnologiyalarla tam həll olunmamış qalır. Mütəxəssislərin fikrincə, bu problemlərin perspektivli həlləri nanokompozit materialların tətbiqi və ya istifadə olunan kimyəvi tərkiblərin məqsədyönlü modifikasiyası ilə bağlı ola bilər.

Yuxarıda sadalanan məsələlər neft-qaz sənayesi üçün kifayət qədər aktual olsa da, onların bir sıra aspektləri hələ də tam öyrənilməmişdir:

1. quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi üçün nanohissəciklərin tətbiqinin səmərəliliyi tam aydınlaşdırılmamışdır;

2. quyularda qum çıxması ilə mübarizə məqsədilə gel əmələ gətirən tərkiblərin tətbiqi kifayət qədər öyrənilməmişdir;

3. gel əmələ gətirən tərkiblərin laya vurulması zamanı layın zədələnməsi məsələsi praktiki olaraq yetərincə tədqiq edilməmişdir;

4. yüksək lay temperaturu şəraitində nanokompozit gel əmələ gətirən sistemlərin tətbiq səmərəliliyi tam öyrənilməmişdir.

Təqdim olunan dissertasiya işində yuxarıda göstərilən məsələlərin kompleks şəkildə araşdırılmasına və onların elmi-praktiki həllərinin əsaslandırılmasına cəhd edilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti

Tədqiqatın obyektı uzunmüddətli istismarda olan yataqlardakı quyuların quyudibi zonasıdır.

Tədqiqatın predmeti göstərilən quyuların istismar səmərəliliyinin artırılması məqsədilə yeni su təcridi tərkiblərinin, müvəqqəti təcridediciləri tərkiblərin və qum çıxması ilə mübarizə üçün kimyəvi üsulların işlənilib hazırlanmasıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri

Tədqiqatın məqsədi işçi agentlərin müasir sınaq və analiz üsulları əsasında quyuların quyudibi zonasının təcridi və möhkəmləndirilməsi üçün yeni üsulların işlənilib hazırlanması və tətbiqidir.

Tədqiqatın əsas vəzifəsi işlənmənin son mərhələsində olan yataqlarda quyuların istismar səmərəliliyinin yüksəldilməsinə imkan verən yeni üsul və texnologiyaların yaradılması, tədqiqi və tətbiqidir.

Tədqiqat metodları

Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş vəzifələr nəzəri, laboratoriya və mədən tədqiqatları vasitəsilə həll edilmişdir. İşdə aşağıdakı tədqiqat üsullarından istifadə olunmuşdur: rotasion viskozimetriya, dinamik işıqın səpilməsi (DİS), asılı damcı üsulu, diferensial skanedici kalorimetriya (DSK), termogravimetrik analiz (TQA), həmçinin standart və xüsusi kern tədqiqatları.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. Quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi üçün qrafit tipli karbon nitrid ($g-C_3N_4$) nanohissəcikləri ilə modifikasiya edilmiş epoksid qatranı əsasında hazırlanmış tərkib.

2. Quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi üçün silisium dioksid (SiO_2) nanohissəcikləri əlavə edilməklə karbamid-formaldehid qatranı əsasında hazırlanmış tərkib.

3. Quyuların istismarı zamanı laydan qum çıxmasının məhdudlaşdırılması üçün hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkib.

4. Quyuya su axınının təcrid edilməsi üçün hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkib.

5. Yüksək lay temperaturu şəraitində quyuya su axınının məhdudlaşdırılması üçün kolloid silisium dioksid əsasında hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkib.

6. Yüksək lay temperaturu şəraitində quyuya su axınının təcrid edilməsi üçün hazırlanmış nanokompozit polimer kompozisiyası.

7. Silikat əsaslı gel əmələ gətirən tərkiblərin tətbiqi nəticəsində layın keçiriciliyinin azalmasının təsirini zəiflətmək və keçiriciliyi bərpa etmək üçün işlənib hazırlanmış üsul.

8. Müvəqqəti tıxayıcı agentin və gel əmələ gətirən tərkibin ardıcıl tətbiqi ilə quyuya su axınının təcrid edilməsini nəzərdə tutan üsul.

Dissertasiyanın elmi yeniliyi

Dissertasiya işinin elmi yeniliyi aşağıdakı nəticələrlə müəyyən olunur:

1. Quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi və laydan qum çıxmasının məhdudlaşdırılması üçün qrafit tipli karbon nitrid ($g-C_3N_4$) nanohissəcikləri ilə modifikasiya edilmiş epoksid qatranı əsasında tərkib, silisium dioksid (SiO_2) nanohissəcikləri əlavə edilmiş karbamid-formaldehid qatranı əsasında tərkib və polimer əsaslı gel əmələ gətirən tərkib hazırlanmışdır. Nanohissəciklərin qatran əsaslı tərkiblərin mexaniki möhkəmliyinə və termik davamlılığına təsiri müəyyən edilmişdir. Epoksid qatranı əsaslı tərkibə qaz əmələ gətirən agent əlavə etməklə möhkəmləndirilmiş məsaməli mühitin keçiriciliyinin tənzimlənməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir. Hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkibin qum hissəciklərinin

miqrasiyasını azaltdığı və süxurun mexaniki möhkəmliyini artırdığı təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir.

2. Quyu su axınının məhdudlaşdırılması və təcrid edilməsi üçün polimer əsaslı gel əmələ gətirən tərkib, yüksək lay temperaturu şəraitində tətbiq üçün kolloid silisium dioksid əsasında gel əmələ gətirən tərkib və nanokompozit polimer kompozisiyası hazırlanmışdır. Kolloid silisium dioksid əsaslı sistemdə gel əmələ gəlmə müddətinin temperaturdan, silisium dioksidin və aktivləşdirici duzların konsentrasiyasından asılılığı müəyyən edilmişdir. Tədqiq olunan şəraitdə temperaturun, silisium dioksidin və duzun konsentrasiyasının artması ilə gel əmələ gəlmə müddətinin qısaldığı göstərilmişdir. Nanohissəciklərin polimer kompozisiyasına əlavə edilməsinin gəlin dayanıqlığını və məsaməli mühitdə yaratdığı qalıq müqaviməti artırdığı təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir.

3. Silikat əsaslı gel əmələ gətirən tərkiblərin tətbiqi nəticəsində layın keçiriciliyinin azalmasının təsirini zəiflətmək və keçiriciliyi bərpa etmək üçün qələvi məhlulla işlənməyə əsaslanan üsul təklif edilmişdir. Natrium hidroksid məhlulunun silikat gel tıxaclarını dağıtmaqla məsaməli mühitin keçiriciliyini bərpa edə bildiyi təcrübi olaraq göstərilmişdir. Həmçinin müvəqqəti tıxayıcı agentin və gel əmələ gətirən tərkibin ardıcıl tətbiqinə əsaslanan su axınının təcridi üsulu işlənilib hazırlanmışdır. Bu üsul neftlə doymuş zonalarda müvəqqəti filtrasiya qabığının yaradılmasını, gəlin su keçirən çatlara yönəldilməsini və sonradan həmin qabığın fermentlərlə parçalanması nəticəsində neftlə doymuş zonaların keçiriciliyinin bərpa edilməsini nəzərdə tutur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti

Dissertasiyada işlənilib hazırlanmış müddəalar su axınına nəzarət texnologiyalarının təkmilləşdirilməsinə, qum çıxmasının qarşısının alınmasına və karbohidrogen hasilatının rentabelliyyənin artırılmasına yönəlmiş sonrakı elmi tədqiqatlar üçün nəzəri və metodiki əsas ola bilər. Eyni zamanda, əldə edilmiş nəticələr neft və qaz yataqlarının işlənməsi sahəsində mütəxəssis hazırlığı üzrə təhsil proqramlarına inteqrasiya oluna bilər ki, bu da mühəndis təhsilinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və müasir texnologiyaların sənayedə tətbiqinə töhfə verə bilər.

Qum çıxmasının qarşısının alınması məqsədilə hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkibin quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi üçün təcrübə-mədən sınaqları Verxne-Şapşinsk yatağında aparılmışdır. Göstərilən texnoloji tədbirlərin 1004, 1007 və 1009 nömrəli quyularda həyata keçirilməsi nəticəsində 125 ton əlavə neft hasilatına nail olunmuşdur.

Hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkibdən istifadə etməklə Urengoy neft-qaz-kondensat yatağının (NQKY) 1325 və 1350 nömrəli quyularında su axınının seçici təcridi üzrə işlər aparılmışdır. Monitoring nəticələrinə görə, müşahidə dövründə hasil edilən suyun həcmi 3659 m³ azalmış, neft hasilatı isə 460 ton artmışdır.

Nəticələrin aprobasiyası və tətbiqi

Dissertasiya işinin materialları aşağıdakı beynəlxalq və respublika konfranslarında məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

- Aşırov Oxuları. Samara: Samara Dövlət Texniki Universiteti, 02.12.2020;

- V Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfrans, Bulatov Oxuları. Krasnodar, 31.03.2021;

- V Gənc Tədqiqatçıların Beynəlxalq Elmi Konfransı. Bakı: Bakı Mühəndislik Universiteti, 29–30.04.2021;

- SPE İllik Xəzər Texniki Konfransı. Virtual konfrans, 5–7.10.2021.

Dissertasiyanın əsas məzmunu 4 tezis və 5 məqalə daxil olmaqla 9 elmi əsərdə dərc edilmişdir.

Dissertasiya tədqiqatının aparıldığı təşkilat

Dissertasiya tədqiqatı SOCAR-ın “Neftqazəlimtədqiqatlayihə” İnstitutunda aparılmışdır.

Dissertasiyanın həcmi və strukturu

Dissertasiya girişdən, 4 fəsildən, əsas nəticə və tövsiyələrdən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir. Dissertasiya 154 səhifədə təqdim edilmiş, işdə 1 cədvəl, 8 şəkil, 31 qrafik və 117 adda ədəbiyyat mənbəyi verilmişdir.

Dissertasiyanın ümumi həcmi 171839 işarədir. Giriş – 11821 işarə, I fəsil – 65594 işarə, II fəsil – 23243 işarə, III fəsil – 54519 işarə, IV fəsil – 11778 işarə, nəticələr və tövsiyələr – 4884 işarə təşkil edir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi və əsas vəzifələri müəyyənləşdirilmiş, elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti göstərilmişdir.

Birinci fəsil

Birinci fəsildə (ədəbiyyat icmal) quyuların quyudibi zonasının təcridi və möhkəmləndirilməsi üçün tətbiq olunan işçi agentlərin sınaq və analiz üsullarının təhlili təqdim edilmişdir. Qum çıxmasının qarşısının alınması və su axınının məhdudlaşdırılması üçün innovativ texnologiyaların işlənib hazırlanmasının və tətbiqinin aktuallığı əsaslandırılmışdır. Süxurların konsolidasiyasının mexaniki, kimyəvi, mikrobioloji və nanotexnoloji üsullarına, həmçinin seçici və qeyri-seçici su təcridi texnologiyalarına həsr olunmuş nəzəri və təcrübi tədqiqatların tənqidi icmal aparılmışdır. Tətbiq olunan texnologiyaların səmərəliliyinin və ekoloji təhlükəsizliyinin yüksəldilməsinə yönəlmiş perspektivli tədqiqat istiqamətləri nəzərdən keçirilmişdir.

Qum çıxması lay flüidlərinin axınının təsiri altında süxur hissəciklərinin laydan quyu lüləsinə hərəkəti prosesidir. Bu problem həm quyunun məhsuldarlığını, həm də istismar kəmərinin dayanıqlığını əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

Qum çıxması ilə mübarizənin ənənəvi üsullarına müxtəlif qum əleyhinə süzgəclərin quraşdırılması, çinqilli süzgəclərlə hidravlik yarılma (frac-pack) texnologiyaları və çinqil dolğularının yaradılması daxildir.

Süxurun qum çıxmasına meyilliliyinə təsir edən parametrləri şərti olaraq iki əsas qrupa bölmək olar: lay flüidinin axını ilə əlaqəli amillər və süxurun mexaniki möhkəmliyini müəyyən edən amillər.

Laydakı tektonik gərginliklər xüsusilə struktur tələlərin zirvələri və tektonik qırılma zonaları yaxınlığında süxurların dayanıqlığına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Süxurların sementləşmə dərəcəsi onların struktur bütövlüyünü qorumaq və dağılmaya müqavimət göstərmək qabiliyyətini xarakterizə edir. Bu parametr dənələrarası əlaqələrin səviyyəsi və dənələrarası kontaktların möhkəmliyi ilə müəyyən olunur.

Məhsuldar layın qeyri-bircinsliyi gərginliklərin paylanmasına, həmçinin süxurun filtrasiya-tutum xassələrinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Bu halda qum çıxmasına təsir edən əsas amillər uzaq zonalarda gərginliklərin paylanması və keçiriciliyin dəyişkənliyidir.

Məhsuldar laydan qumun intensiv çıxmasına səbəb olan əsas amillərdən biri karbohidrogen hasilatının intensivləşdirilməsidir. Bu təsir təzyiq depressiyasının, yəni lay təzyiqi ilə quyudibi təzyiqi arasındakı fərqlin artması ilə əlaqədardır.

Məhsuldar lay zonasında yüksək təzyiq qradientləri yarandıqda süxura düşən hidrodinamik yüklər artır və bu, onun strukturunun dayanıqlığının pozulmasına, nəticədə qum hissəciklərinin flüid axınına qoşulmasına səbəb ola bilər.

Su-neft amilinin artması da qum çıxması prosesinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Bu təsir iki əsas mexanizmlə izah olunur: birinci mexanizm kollektorun islanma xassələrinin dəyişməsi, ikinci mexanizm isə süxurun nisbi keçiriciliyinin dəyişməsi ilə bağlıdır.

Süxura hidrodinamik təsir yalnız flüidin hərəkət sürəti ilə deyil, həm də onun özlülük xassələri ilə müəyyən olunur. Karbohidrogenlərin özlülüyü artdıqca məsaməli mühitə təsir edən sürtünmə qüvvəsi artır ki, bu da süxurun dağılması və qum hissəciklərinin axına qoşulması ehtimalını yüksəldir.

Qum çıxmasının ən ciddi nəticələrinə süxurun çökməsi və layın degradasiyası, qumun səthə çıxarılmadan quyu lüləsində yığılması, quyu və yerüstü avadanlığın eroziyalı aşınması, səth yığım sistemlərində qumun toplanması və onun utilizasiyası ilə bağlı problemlər aiddir.

Hazırda qumun konsolidasiyası və qum çıxmasının məhdudlaşdırılması üçün ən geniş yayılmış texnologiyalar aşağıdakı əsas qruplar üzrə təsnif edilə bilər:¹

5. Kimyəvi konsolidasiya üsulları:

- Qatranın vurulması: bu üsul qatranın quyudibi zonaya vurulmasını nəzərdə tutur; qatran layda bərkilərək süxuru möhkəmləndirir və qum hissəciklərinin quyuya miqrasiyasının qarşısını alır.

¹ Alakbari, F.S. Chemical sand consolidation: from polymers to nanoparticles / M.E. Mohyaldinn, A.S. Muhsan [et al.] // Polymers. – 2020. – Vol. 12, No. 5, – 1069.

- Gel əmələ gətirən tərkiblərin vurulması: bu üsul quyudibi zonanı möhkəmləndirmək məqsədilə həmin zonaya polimer gellərinin vurulmasına əsaslanır.

- Köpük sistemlərinin vurulması: bu halda qum çıxması köpük sistemi vasitəsilə yaradılan maneə hesabına məhdudlaşdırılır.

- Müxtəlif kimyəvi birləşmələrin vurulması: bu qrupa qum çıxmasına qarşı qoruyucu maneə yaratmaq məqsədilə tətbiq olunan geniş spektrli kimyəvi birləşmələr daxildir.

6. Zəif sementləşmiş süxurların konsolidasiyası üçün elektromaqnit təsirlərinin tətbiqi: bu qrup üsullar qum dənələri arasında möhkəm əlaqələr yaratmaq məqsədilə yüksək tezlikli elektrik sahəsindən istifadəyə əsaslanır. Texnologiyanın üstünlüyü kimyəvi maddələrin tətbiqinə ehtiyacın azalması və bunun nəticəsində ətraf mühitə təsirin minimumlaşdırılması imkanından ibarətdir.

7. Mikrobioloji konsolidasiya: qum dənələrini bir-birinə bağlayan təbii sementləşdirici maddələrin yaranmasını təmin edən mikroorqanizmlərdən istifadə olunur. Bu yanaşma ekoloji baxımdan əlverişli olması və layın daha dərin zonalarında tətbiq imkanları ilə fərqlənir.

8. Nanohissəciklərin tətbiqi: bu qrup texnologiyalar ölçüsü 100 nanometrdən böyük olmayan nanohissəciklərin qum dənələri arasında əlaqəni möhkəmləndirmək məqsədilə məsaməli mühitə daxil edilməsinə əsaslanır.²

Quyu məhsulunun sulaşma dərəcəsinin artması müasir neft-qaz sənayesinin ən aktual problemlərindən biridir. Hasil edilən məhsulun sulaşmasının artması neft hasil edən şirkətlər üçün çoxsaylı texniki və iqtisadi problemlər yaradır. İlk növbədə, bu hal hasilat quyularının məhsuldarlığına mənfi təsir göstərir, onların səmərəli istismar müddətini qısaldır və istismar xərclərini artırır. Məsələn, qazlift üsulu ilə neft hasilatında vurulan qazın tələb olunan miqdarı məhsulun sulaşma dərəcəsinin yüksəlməsi ilə artır. Digər mühüm amillər müxtəlif növ çöküntülərin və korroziya hallarının intensivləşməsi, nəticədə həm quyudaxili, həm də quyuağzı avadanlığın sıradan

² Mishra, S. Nanoparticle induced chemical system for consolidating loosely bound sand formations in oil fields / K. Ojha // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2016. – Vol. 147, – pp. 15–23.

çıxması riskinin artmasıdır. Hasil edilən neftin ilkin hazırlanmasına və suyun ayrılmasına çəkilən xərclər də əhəmiyyətli dərəcədə artır. Su axınının məhdudlaşdırılması texnologiyaları neftlə doymuş zonalara minimum təsir göstərməklə su ilə doymuş zonalara seçici təsir etmək qabiliyyətinə görə iki əsas qrupa bölünür: qeyri-seçici və seçici üsullar.³

Qeyri-seçici üsullar su və neftlə doymuş zonalar arasındakı fərqləri nəzərə almadan su axınıni bloklayır ki, bu da bəzi hallarda neft hasilatının azalmasına səbəb ola bilər. Bu üsullar su axını kəskin xarakter aldıqda və təcili müdaxilə tələb olunduqda daha məqsədəuyğun hesab edilir. Belə üsullara sement və sintetik qatranlar əsasında müxtəlif tamponaj tərkiblərinin tətbiqini nümunə göstərmək olar.⁴

İkinci fəsil

İkinci fəsil quyuların quyudibi zonasının möhkəmləndirilməsi və qum çıxmasının qarşısının alınması üçün yeni tərkiblərin işlənilib hazırlanmasına həsr olunmuşdur. Nanoflüidlərin, nanohissəciklərin və gel əmələ gətirən tərkiblərin tətbiqi ilə zəif sementləşmiş süxurların kimyəvi konsolidasiyasının innovativ üsulları nəzərdən keçirilmişdir. Ənənəvi mexaniki və kimyəvi qum çıxmasına qarşı mübarizə üsulları təhlil edilmiş və onların əsas məhdudiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir. Quyudibi zonanın möhkəmliyini artırmaq və keçiriciliyin arzuolunmaz dərəcədə azalmasını məhdudlaşdırmaq üçün polimer və qatran əsaslı tərkiblərin vurulmasını nəzərdə tutan kimyəvi texnologiyalara xüsusi diqqət yetirilmişdir. Epoksid və karbamid-formaldehid qatranlarının nanohissəciklərlə modifikasiya edilmiş perspektivli tərkibləri, həmçinin gel əmələ gətirən sistemlər nəzərdən keçirilmişdir.⁵

³ Al-Muntasheri, G.A. A review of crosslinked polymeric gels for water shut-off treatments / H.A. Nasr-El-Din, I.A. Hussein // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2010. – Vol. 73, No. 3–4, – pp. 138–147.

⁴ Du, J. Nanocomposite gels for water shut-off and temporary plugging in the petroleum industry: a review / Q. Wang, P. Liu [et al.] // *Petroleum Science and Technology*. – 2022. – pp. 1–36.

⁵ Ben Mahmud, H. Sand production: A smart control framework for risk mitigation / V.H. Leong, Y. Lestario // *Petroleum*. – 2020. – Vol. 6, No. 1, – pp. 1–13.

Nanostruktur əlavələri olan qatranlardan istifadə süxurun mexaniki möhkəmliyinin artırılmasında bu tərkiblərin səmərəliliyini yüksəltsə də, bəzi hallarda keçiriciliyə mənfi təsir göstərə bilər. Buna görə layın keçiriciliyini qorumaq və ya bu mənfi təsiri azaltmaq üçün əlavə modifikasiyaedici komponentlər tələb olunur. Tədqiqatda epoksid qatranına qaz əmələ gətirən agent və karbon nitrid nanohissəciklərinin əlavə edilməsinə əsaslanan yeni yanaşma təqdim edilmişdir. Bundan əlavə, hazırlanmış nanoflüidın işlənmiş məsaməli mühitin keçiriciliyinə təsirini qiymətləndirmək üçün qum lay modellərində bir sıra təcrübələr aparılmışdır [5].

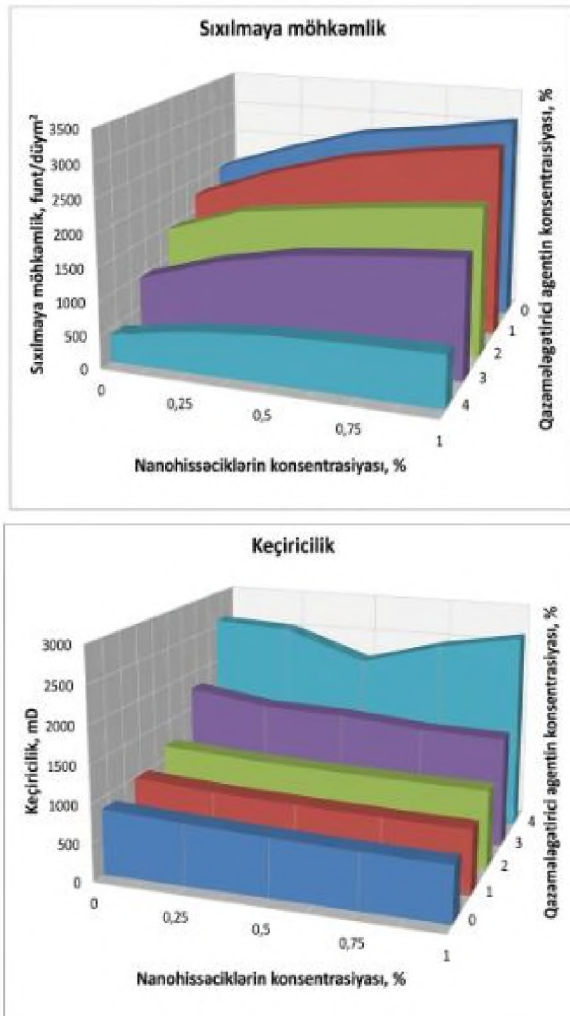
Birinci təcrübə seriyasında qatranla həlledicinin müxtəlif nisbətləri tədqiq edilmişdir. İki əsas parametrlər öyrənilmişdir: işlənmiş nümunələrin konsolidasiya dərəcəsinin vurulan işçi agentin həcmindən asılılığı və işçi agentdə qatran konsentrasiyasının konsolidasiya prosesinə təsiri.

Hazırlanmış tərkiblərin konsolidasiya qabiliyyətini qiymətləndirmək üçün onlar qum lay modelinə vurulmuş və Azəri-Çıraq-Günəşli (AÇG) yatağının lay şəraitinə uyğun olaraq 62 °C temperaturda və 3000 psi təzyiqdə 48 saat saxlanılmaq üçün hermetikləşdirilmişdir. Bu müddətdən sonra lay modelinin keçiriciliyi yenidən qiymətləndirilmişdir. Daha sonra nümunə kern tutucusundan çıxarılmış və sıxılmada möhkəmliyi ölçülmüşdür. Bir oxlu sıxılmada möhkəmlik (UCS) müəyyən diametrli silindrik nümunəyə dağılma anınadək oxboyu qüvvə tətbiq etməklə təyin edilir.

İlk mərhələdə qatran konsentrasiyasının və işçi agent həcmının qumun konsolidasiyasının səmərəliliyinə təsiri öyrənilmişdir. Əldə edilən nəticələr əsasında sonrakı təcrübələr üçün 60 % qatran konsentrasiyası və 2 məsamə həcmi miqdarında işçi agent seçilmişdir.

Sonrakı mərhələdə nanohissəciklərin və qaz əmələ gətirən agentin tədqiq olunan nümunələrin sıxılmada möhkəmlik və keçiricilik göstəricilərinə təsiri öyrənilmişdir. 1 sayılı qrafikdə nanohissəciklərin və qaz əmələ gətirən agentin qum lay modelinin sıxılmada möhkəmliyinə və keçiriciliyinə təsiri göstərilmişdir.

1a qrafikində göstəriləndiyi kimi, qaz əmələ gətirən agentin aşağı konsentrasiyalarında (0–2 %) sıxılmada möhkəmlik əvvəlcə nanohissəciklərin konsentrasiyasının artması ilə yüksəlir.



Qrafik 1. Nanohissəciklərin və qaz əmələgətirən agentin qum lay modelinin sıxılmada möhkəmliyinə və keçiriciliyinə təsiri

Lakin nanohissəciklərin konsentrasiyası 0,5 %-ə çatdıqdan sonra sıxılmada möhkəmliyin artım sürəti zəifləyir.

1b qrafikində göstərildiyi kimi, qaz əmələ gətirən agentin sabit konsentrasiyasında nümunələrin keçiricilik göstəricisi nanohissəciklərin konsentrasiyasının artması ilə nisbətən sabit qalır ki, bu da nano-g-C₃N₄ hissəciklərinin keçiriciliyə təsirinin minimal olduğunu göstərir.

Qumun kimyəvi konsolidasiyası üçün hazırlanmış yeni nanoflüidın təcrübi tədqiqatları ümidverici nəticələr vermişdir. Qrafit tipli karbon nitrid nanohissəciklərinin tərkibə daxil edilməsi kern nümunələrinin sıxılmada möhkəmliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Bundan əlavə, epoksid qatranı əsaslı nanoflüiddə qaz əmələ gətirən agentin (maqnezium birləşməsi) istifadəsi mütləq keçiriciliyin nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına imkan vermişdir.

Ümumilikdə əldə edilmiş nəticələr göstərir ki, hazırlanmış tərkib neft-qaz kollektorlarında qumun konsolidasiyası üçün səmərəli həll kimi nəzərdən keçirilə bilər; tərkib sıxılmada möhkəmliyin artırılması ilə yanaşı, məsələli mühitin keçiriciliyinin idarə olunmasına da imkan verir.

Qum çıxması ilə kimyəvi mübarizə üsullarında əsasən polimer və qatran əsasında tərkiblərdən istifadə olunur.

Aparılan tədqiqatda silisium dioksid nanohissəciklərindən (nano-SiO₂) və karbamid-formaldehid qatranından (UF) istifadə edilmişdir. pH və duzluluğu tənzimləmək məqsədilə zərurət yarandıqda natrium hidroksid, xlorid turşusu və natrium xlorid əlavə edilmişdir. Neft fazası kimi əmtəə neftindən istifadə olunmuşdur [7].

Hazırlanmış tərkibin səmərəliliyini təsdiq etmək üçün qum lay modellərində bir sıra təcrübələr aparılmışdır. İşlənmiş nümunələrin keçiriciliyinin maksimum azalması (16,1 %) 12 % UF + 0,5 % nano-SiO₂ məhlulunun vurulması zamanı müşahidə edilmişdir. Bu halda sıxılmada möhkəmlik də maksimum qiymət alaraq 2457 psi təşkil etmişdir. Ümumilikdə işçi agentin konsentrasiyasının artması ilə keçiriciliyin azalması və sıxılmada möhkəmliyin yüksəlməsi müşahidə olunmuşdur (Cədvəl 1).

Cədvəl 1. Nanohissəciklərin konsentrasiyasının işlənmiş nümunələrin sıxılmada möhkəmliyinə və keçiriciliyin azalmasına təsiri

UF məhlulu, %	Nano-SiO₂, %	Sıxılmada möhkəmlik, psi	Keçiriciliyin azalması, %
6	0.1	819	4.3
9	0.1	1378	9.8
12	0.1	1685	13.0
6	0.2	875	5.2
9	0.2	1426	11.3
12	0.2	1794	14.8
6	0.5	1127	5.8
9	0.5	1864	12.6
12	0.5	2457	16.1

Beləliklə, qum çıxması ilə mübarizənin ənənəvi üsulları ilə müqayisədə keçiriciliyin yalnız cüzi azalması fonunda işlənmiş nümunələrin kifayət qədər yüksək sıxılmada möhkəmlik göstəricilərini təmin edən tərkib təklif edilmişdir. Layda bentonitin mövcudluğu sementləşdirici məhlulun səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Hidrogellərin tətbiqi sahəsində aparılan elmi tədqiqatların inkişafı ildən-ilə daha perspektivli nəticələrin əldə olunmasına imkan verir. Bu tədqiqatda laboratoriya nəticələri əsasında qum çıxması ilə mübarizədə gel əmələ gətirən tərkibdən istifadə imkanları təhlil edilmişdir [9].

Təklif olunan tərkibin səmərəliliyini qiymətləndirmək məqsədilə təcrübi tədqiqatlar aşağıdakı üç əsas istiqamət üzrə aparılmışdır:

- polimer komponentin müxtəlif konsentrasiyalarında tikici konsentrasiyasının gel əmələ gəlmə müddətinə təsirinin öyrənilməsi;
- təklif olunan gel əmələ gətirən tərkibin reoloji xassələrinin öyrənilməsi;
- qum lay modellərində təklif olunan gel əmələ gətirən tərkibin təcridedici xassələrinin öyrənilməsi.

Davamlı gel strukturunun əmələ gəlməsi üçün tələb olunan kritik polimer konsentrasiyası tikici/polimer kütlə payı 0,25 və 0,5

kütlə % olan iki gel nümunəsi qrupunun 2000-dən 14000 mln⁻¹-ə qədər müxtəlif polimer konsentrasiyalarında özlülüyünün dəyişmə dinamikası əsasında müəyyən edilmişdir (Cədvəl 2). Bütün ölçmələr 5 s⁻¹ kəsmə sürətində aparılmışdır. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, tikicinin konsentrasiyasından asılı olmayaraq, gel əmələ gəlmə prosesinin başlanması üçün tələb olunan minimum polimer konsentrasiyası 5000 mln⁻¹-dir.

Cədvəl 2. Gel məhlulunun özlülüyünün dəyişmə dinamikası

Polimer konsentrasiyası, mln⁻¹	Tikici konsentrasiyası – 0,25 kütlə %	Tikici konsentrasiyası – 0,5 kütlə %
2000	3.2	2.1
4000	3.0	4.1
5000	10	9
8000	12	11
10000	13	12
12000	14	13
14000	15.6	14.2

Müxtəlif polimer və tikici konsentrasiyalarının tədqiq olunan gellərin reoloji xassələrinə təsirini öyrənmək üçün dörd nümunə seçilmişdir (Cədvəl 3).

Cədvəl 3. Kəsmə sürətindən asılı olaraq özlülüyün dəyişmə dinamikası

Kəsmə sürəti, 1/s	Özlülük – Nümunə 1, Pa·s	Özlülük – Nümunə 2, Pa·s	Özlülük – Nümunə 3, Pa·s	Özlülük – Nümunə 4, Pa·s
25	8.16	9.09	8.37	8.45
50	4.36	3.89	4.28	5.26
75	2.48	2.83	2.39	2.58
100	2.17	2.41	2.22	2.12
125	1.97	2.08	2.13	2.05
150	1.84	1.95	1.86	1.68
200	1.79	1.88	1.84	1.66

Tədqiq olunan bütün nümunələr qeyri-Nyuton, daha dəqiq desək, psevdoplastik davranış nümayiş etdirmişdir. Qeyd etmək

lazımdır ki, psevdoplastik davranış hidrogel kompozisiyalarının işlənilib hazırlanmasında arzuolunan reoloji xüsusiyyətlərdən biridir.

Sonrakı mərhələdə nasosun müxtəlif sərf qiymətlərində, eyni zamanda qum çıxmasının miqdarı ölçülməklə, gəlin yerdəyişmə prosesi tədqiq edilmişdir. Əldə edilən nəticələr qum çıxmasının təxminən 10 dəfə azaldığını göstərmişdir. Hidrogelin təsir mexanizmi, ehtimal ki, süxur səthində nazik polimer təbəqəsinin əmələ gəlməsinə əsaslanır ki, bu da süxurun sementləşməsini və eroziyaya davamlılığını artırır. Əlavə müsbət təsir neftə görə keçiriciliklə müqayisədə suya görə keçiriciliyin daha çox azalmasıdır; bu xüsusiyyət hasil edilən məhsulun sulaşma dərəcəsini azaltmağa imkan verir. Beləliklə, laboratoriya təcrübələri suya görə keçiriciliyin 80 dəfədən çox, neftə görə isə 8 dəfədən çox olmayaraq azaldığını göstərmişdir (Cədvəl 4).

Bu tədqiqatda zəif sementləşmiş süxurların möhkəmləndirilməsi və qum çıxmasının azaldılması üçün aşağıdakı tərkibli sistem hazırlanmışdır: tikicinin kütlə payı 0,5 %, polimerin konsentrasiyası isə 9000 ml^{-1} .

Hazırlanmış tərkiblər psevdoplastik davranış nümayiş etdirir və qum çıxmasını 10 dəfəyə qədər azaltmağa imkan verir. Eyni zamanda, neftə görə keçiriciliyin azalması ilə müqayisədə suya görə keçiriciliyin daha əhəmiyyətli azalması müşahidə olunur. Hazırlanmış gel tərkibi üçün bu göstəricilər müvafiq olaraq 80 və 8 dəfə təşkil etmişdir.

Cədvəl 4. Hidrogelin keçiriciliyə və qum çıxmasına təsiri

Mərhələ	Suya görə nisbi keçiricilik, mD	Neftə görə nisbi keçiricilik, mD	1 məsəmə həcmi su vurulduqda qum çıxması, q	2 məsəmə həcmi su vurulduqda qum çıxması, q
Hidrogel vurulmazdan əvvəl	91	108	1.36	3.28
Hidrogel vurulduqdan sonra	1.1	12.6	0.12	0.31

Təcrübi tədqiqatlar SiO_2 və $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanohissəciklərinin tərkibə daxil edilməsinin səmərəliliyini təsdiq etmişdir: bu əlavələr keçiriciliyi əhəmiyyətli dərəcədə pisləşdirmədən sıxılda möhkəmliyi artırır. Nanohissəciklərin və qaz əmələ gətirən agentin konsentrasiyasının qumlu kollektorların filtrasiya-tutum xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, epoksid qatranı və karbon nitrid əsasında hazırlanmış nanoflüidlərin istifadəsi tənzimlənən keçiriciliyə malik möhkəm strukturun formalaşmasına imkan verir.

Qum çıxmasının məhdudlaşdırılması üçün tətbiq olunan, reoloji xassələri tənzimləyə bilən hidrogel tərkibləri də əlavə olaraq tədqiq edilmişdir. Lay modellərində aparılan təcrübələr göstərmişdir ki, gel əmələ gətirən sistemlərin istifadəsi qum çıxmasını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa və suya görə keçiriciliyin seçici şəkildə azalmasını təmin etməyə imkan verir ki, bu da hasil edilən məhsulun sulaşma dərəcəsinin azalmasına müsbət təsir göstərir.

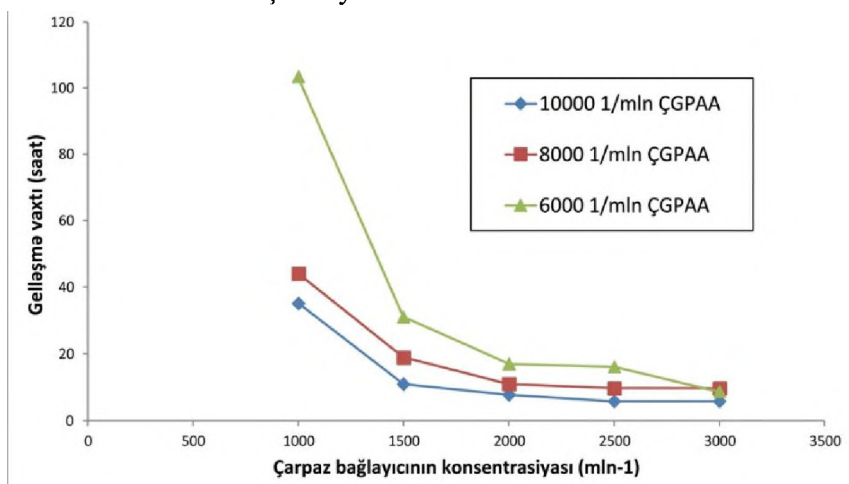
Tədqiqat nəticələri təklif olunan tərkiblərin zəif sementləşmiş kollektorlarda tətbiqinin perspektivli olduğunu göstərir. Bu tərkiblər quyudibi zonanın səmərəli şəkildə sabitləşdirilməsinə, qum çıxmasının məhdudlaşdırılmasına və quyuların səmərəli istismar müddətinin uzadılmasına şərait yaradır.

Üçüncü fəsil

Üçüncü fəsildə neft-qaz quyularında su axınının təcridi üçün yeni tərkiblərin işlənilib hazırlanması nəzərdən keçirilmişdir. Mexaniki və kimyəvi üsullar daxil olmaqla müxtəlif təcrid texnologiyaları tədqiq edilmişdir. Təsirin yüksək seçiciliyinə malik gel sistemlərinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Su ilə doymuş zonaların təcridini təmin edən və gel əmələ gəlmə müddəti tənzimləyə bilən qismən hidrolizə olunmuş poliakrilamid (QHPA) əsasında gel kompozisiyası təqdim edilmişdir. Gel əmələ gəlmə müddətinin tənzimlənməsi bu tərkibin həm quyuya zonanın işlənməsində, həm də layın dərin zonalarında axın yönləndirici agent kimi tətbiqinə imkan verir [1, 6]. Gel əmələ gəlmə müddəti polimer və tikici agentin konsentrasiyalarının dəyişdirilməsi ilə tənzimlənir. Tikici konsentrasiyası ilə gel əmələ gəlmə müddəti arasında birbaşa asılılıq mövcuddur: tikici agentin konsentrasiyası azaldıqca gel əmələ gəlmə sürəti azalır, artıqca isə yüksəlir.

Tikilmə mexanizmi kalium dixromat və tiokarbamidin qismən hidrolizə olunmuş poliakrilamidin karboksilat qrupları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində üçölçülü gel şəbəkəsinin formalaşmasına əsaslanır. Polimer konsentrasiyası da gəlin fiziki xassələrinə və gel əmələ gəlmə müddətinə əhəmiyyətli təsir göstərir (2 sayılı qrafik). Lakin bu halda asılılıq əks xarakter daşıyır: polimer konsentrasiyası azaldıqca gel əmələ gəlmə müddəti artır. Bu təsir məhlulda potensial tikilmə nöqtələrinin sayının azalması ilə izah oluna bilər. Gel nümunələrinin termoqravimetrik təhlili aparılmış, onların termik davamlılığı və bağlı suyun miqdarı müəyyən edilmişdir.

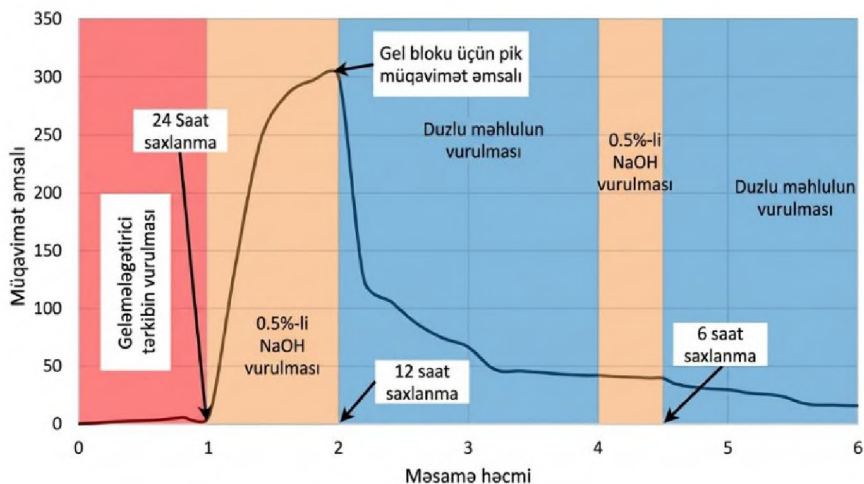
Azəri-Çıraq-Günəşli yatağının kern materialı üzərində aparılan təcrübələr keçiriciliyin 80,5 % azalmasını təsdiq etmişdir ki, bu da tərkibin su təcridi üçün səmərəli olduğunu göstərir. Beləliklə, əldə edilmiş gel sistemi hasil edilən məhsulun sulaşma dərəcəsinin azaldılması və layın su ilə doymuş zonalarının təcrid edilməsi üçün səmərəli agent kimi qiymətləndirilə bilər. Əldə edilmiş qalıq müqavimət əmsalı və gel əmələ gəlmə müddətini geniş diapazonda tənzimləmək imkanı sistemi yalnız su təcridi tərkibi kimi deyil, həm də layın dərin zonalarında filtrasiya axınlarının istiqamətini dəyişdirən agent kimi nəzərdən keçirməyə imkan verir.



Qrafik 2. Tikici agentin konsentrasiyasının gel əmələ gəlmə müddətinə təsiri

Müvəqqəti tıxayıcı agent və gel əmələ gətirən tərkibdən istifadə etməklə su axınının təcridi üçün yeni texnologiya hazırlanmışdır. Təklif olunan metodika üçmərhələli prosesi nəzərdə tutur: müvəqqəti filtrasiya qabığının yaradılması, gelin vurulması və sonradan neftlə doymuş zonanın keçiriciliyinin bərpası. Texnologiya müəyyən ardıcılıqla çatlı kern modelinə üç müxtəlif mayenin hazırlanaraq vurulmasını əhatə edir. Birinci maye özlü məhlulda asılı vəziyyətdə olan mikrolif hissəciklərindən ibarətdir. Bu maye çatlardan keçərək aşağı keçiricilikli neftlə doymuş zonalarda müvəqqəti, azkeçirici filtrasiya qabığı yaratmaq üçün vurulur. İkinci maye tikilmiş polimer gəldir və birinci mayedən dərhal sonra layın hidravlik yarıma təzyiqindən aşağı təzyiqdə vurulur. Gel əsasən çatlara nüfuz edərək onları hermetikləşdirir, çünki kernin aşağı keçiricilikli zonaları artıq filtrasiya qabığı ilə qorunur. Üçüncü mayenin tərkibində filtrasiya qabığını parçalayan ferment olur ki, bu da neftlə doymuş zonaların keçiriciliyini bərpa edir. Təklif olunan üsul neftlə doymuş zonaların zədələnməsi riskini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və gel maneəsinin uzunmüddətli səmərəliliyini təmin etmək üçün çatlara kifayət qədər miqdarda gel yerləşdirilməsinə imkan verir. Təqdim olunan su axınına nəzarət texnologiyası çatlı kollektorlar üçün iqtisadi baxımdan əlverişli və səmərəli həll kimi qiymətləndirilə bilər. Texnologiya neftli zona ilə su keçirən çatlar arasında keçiricilik fərqi yüksək olduqda xüsusilə səmərəlidir.

Su axınının təcridi üçün tətbiq olunan silikat gəllərinin yaratdığı lay zədələnməsinin azaldılması və keçiriciliyin bərpası tədqiq edilmişdir [4]. Kütlə itkisi üzrə sınaqlar və qum lay modelində aparılan suvurma təcrübələri göstərmişdir ki, 1 % NaOH məhlulu həcmli gel tıxaclarını səmərəli şəkildə həll etməklə məsaməli mühitin keçiriciliyinin bərpasına imkan verir. Güclü qələvilərin keçiriciliyin bərpasındakı səmərəliliyi lay şəraitində (1200 mD keçiricilik və 60 °C temperatur) aparılan filtrasiya sınaqları ilə təsdiq edilmişdir. Keçiriciliyin birbaşa qiymətləndirilməsi əvəzinə, vurma təzyiqinin vurulan məsamə həcminə görə dəyişməsi nəzarətdə saxlanılmışdır (3 sayılı qrafik).



Qrafik 3. Qum lay modelində aparılmış təcrübələrin nəticələri

Yekun nəticələr göstərmişdir ki, gel tıxacının təxminən 95 %-i aradan qaldırılmış və son müqavimət əmsali $RF = 15,7$ olmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, mədən şəraitində qələvi məhlulun vurulması lay zədələnməsi tələb olunan səviyyəyədək aradan qaldırılana qədər bir neçə dəfə təkrar edilə bilər. Bu texnologiyanın üstünlüklərinə iqtisadi cəhətdən əlverişli kimyəvi reagentlərdən istifadə, tətbiqin sadəliyi və mürəkkəb əks-yuma prosedurlarına ehtiyacın olmaması daxildir. Hazırlanmış metodika gel sistemlərinin tətbiqindən sonra yaranan qalıq təsirlərin azaldılması və lay keçiriciliyinin bərpası üçün istifadə edilə bilər.

Yüksək lay temperaturu şəraitinə uyğunlaşdırılmış kolloid silisium dioksidi əsaslı gel sistemi hazırlanmışdır [3]. Prosesi aktivləşdirmək üçün $NaCl$, KCl , NH_4Cl , $CaCl_2$, $NaNO_3$ və Na_2SO_4 daxil olmaqla müxtəlif qeyri-üzvi duzlardan istifadə edilmişdir. Gel əmələ gəlmə parametrləri duzun konsentrasiyasından, temperaturdan və ionların növündən asılı olaraq öyrənilmişdir. Laboratoriya tədqiqatları göstərmişdir ki, tərkib yüksək dayanıqlığa və tənzimlənən gel əmələ gəlmə müddətinə malikdir və bu, onun mürəkkəb lay şəraitində tətbiqinə imkan verir. Silisium dioksidin (SiO_2) konsentrasiyası $50\text{ }^{\circ}C$ temperaturda gel əmələ gəlmə müddətinə

əhəmiyyətli təsir göstərir. Sabit temperaturda SiO_2 konsentrasiyası azaldıqca gel əmələ gəlmə müddətinin artması üzrə aydın qanunauyğunluq müşahidə olunur, mühitin mineralaşması isə sabit saxlanılır. Tədqiqat zamanı müxtəlif qeyri-üzvi xloridlərdən istifadə etməklə ayrı-ayrı kationların kolloid silisium sistemində gel əmələ gəlmə prosesinə təsiri öyrənilmişdir.

50 °C temperaturda tədqiq edilən bütün xlorid duzları kolloid silisium sistemində gel əmələ gəlmə prosesini başlatmışdır. Xlorid duzunun konsentrasiyası artdıqca gel əmələ gəlmə müddətinin azaldığı müəyyən edilmişdir. Bu qanunauyğunluq qələvi kolloid silisium nanohissəciklərinin mənfi yüklü səthi ilə məhlulda daxil edilən qeyri-üzvi xloridlərin qarşılıqlı təsiri ilə izah olunur. Əks ionlar (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} və Ca^{2+}) nanohissəciklərin ikiqat elektrik təbəqəsinə nüfuz edərək zeta potensialını azaldır və kolloid sistemin dayanıqlığını zəiflədir. Bu proses duz konsentrasiyası artdıqca gel əmələ gəlməsini sürətləndirir.

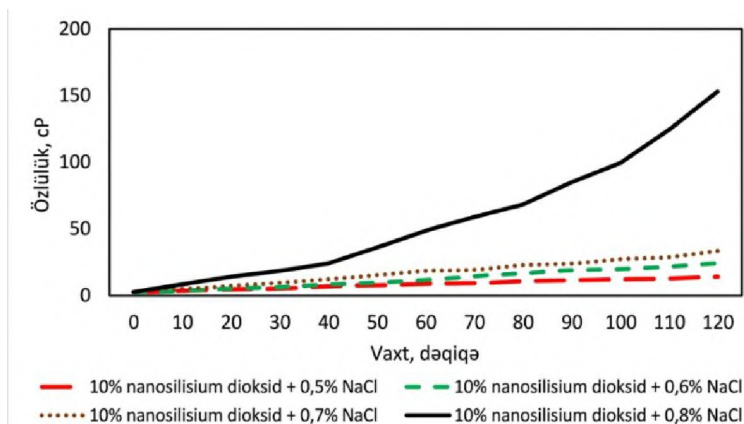
Müxtəlif kationlar gel əmələ gəlmə müddətinə fərqli təsir göstərir. İkivalentli kationlar, xüsusilə Ca^{2+} və Mg^{2+} , birvalentli kationlarla müqayisədə daha sürətli, bəzi hallarda isə demək olar ki, ani gel əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu davranış çoxvalentli kationların, o cümlədən Ca^{2+} ionlarının səthdəki silikat qrupları ilə daha güclü qarşılıqlı təsir göstərməsi ilə izah edilə bilər. Səthi yükün azalması və həllolmayan hissəciklərin əmələ gəlməsi kolloid sistemi sabitləşdirən elektrostatik itələmə qüvvələrini zəiflədir və nəticədə gel əmələ gəlmə müddəti qısalar.

Temperatur kolloid nanosilisium sistemində gel əmələ gəlmə müddətini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Temperatur artdıqca sistemin zeta potensialı azalır, kolloid sistemin dayanıqlığı zəifləyir və gel əmələ gəlmə prosesi sürətlənir. Sınaq nəticələrinin təhlili aydın qanunauyğunluq göstərmişdir: temperatur yüksəldikcə gel əmələ gəlmə müddəti əhəmiyyətli dərəcədə qısalar.

Bu tədqiqatın əsas məqsədi yüksək temperaturlu laylar üçün uyğunlaşdırılmış kolloid nanosilisium əsasında su axınının məhdudlaşdırılması tərkibinin hazırlanması olmuşdur. Temperaturun 20-dən 80 °C-yə qədər yüksəlməsi gel əmələ gəlmə müddətinin əhəmiyyətli dərəcədə qısalmasına səbəb olmuşdur. Bundan əlavə,

aktivatorun konsentrasiyasının kolloid silisiumun gel əmələ gəlmə kinetikasına təsir edən mühüm amillərdən biri olduğu müəyyən edilmişdir.

Bu tərkibin yüksək temperaturlu lay şəraitində tətbiqi baxımından mühitin minerallaşmasına həssaslıq xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu məqsədlə aktivator kimi NaCl-dan istifadə etməklə 110 °C temperaturda reometrik sınaqlar aparılmışdır. Əldə edilən nəticələr 4 sayılı qrafikdə təqdim edilmişdir.



Qrafik 4. Yüksək temperaturda gel əmələ gəlmə dinamikası

Müəyyən edilmişdir ki, NaCl konsentrasiyasının hətta 0,1 % səviyyəsində kiçik dəyişiklikləri belə 110 °C kimi yüksək temperaturda gel əmələ gəlmə müddətinə əhəmiyyətli təsir göstərə bilər. Bu nəticələr mədən şəraitində tərkiblər hazırlanarkən aktivatorun dozalanmasına diqqətlə nəzarət edilməsinin xüsusi əhəmiyyət daşdığını göstərir.

Tədqiqat yüksək temperaturlu lay şəraitində tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş, kolloid silisium dioksid əsasında su axınının məhdudlaşdırılması üçün işçi agentin hazırlanmasına yönəlmişdir. Hazırlanmış sistem aşağı ilkin özlülüyə malikdir ki, bu da onun layın dərin zonalarına nüfuz etməsini və tətbiq səmərəliliyini təmin edir.

Tədqiqat nəticəsində aşağıdakı əsas nəticələr əldə edilmişdir:

- temperaturun, duz konsentrasiyasının və silisium dioksid konsentrasiyasının yüksəlməsi gel əmələ gəlmə prosesinin sürətlənməsinə səbəb olmuşdur;

- aktivləşdirici duzun konsentrasiyası gel əmələ gəlmə müddətinə əhəmiyyətli təsir göstərmiş və onun gel əmələ gəlmə prosesində mühüm rol oynadığı təsdiq edilmişdir;

- müxtəlif aktivator ionlarının gel əmələ gəlməyə təsiri onların yükündən, ion radiusundan və kolloid hissəciklərlə qarşılıqlı təsir xüsusiyyətlərindən asılı olaraq fərqlənmişdir;

- sistemin, xüsusilə yüksək temperatur şəraitində, duz konsentrasiyasındakı hətta kiçik dəyişikliklərə qarşı yüksək həssaslığı müəyyən edilmişdir.

Əldə edilmiş nəticələr əsasında yüksək minerallaşmış lay suları ilə xarakterizə olunan laylarda silikagellər tətbiq edilərkən vaxtından əvvəl gel əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün aşağı minerallaşmış suyun əvvəlcədən vurulması tövsiyə edilmişdir.

Yüksək temperatur şəraitində su təcridi üçün nanokompozit polimer kompozisiyası təklif edilmişdir. Təcrübələr göstərmişdir ki, nanosilisiumun əlavə edilməsi gelin möhkəmliyini artırır, sinerezisi azaldır və bağlı suyun miqdarını yüksəldir ki, bu da sistemin uzunmüddətli dayanıqlığını yaxşılaşdırır. Kern materialı üzərində aparılan tədqiqatlar tərkibin 105 °C temperaturda su axınının bloklanmasında yüksək səmərəliliyini nümayiş etdirmişdir.

Əldə edilən nəticələr neft-qaz yataqlarında su axınının təcridi üçün hazırlanmış tərkiblərin perspektivli olduğunu təsdiq edir. Bu tərkiblərin tətbiqi hasil edilən məhsulun sulaşma səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa və quyuların istismar səmərəliliyini yüksəltməyə imkan verir.

Dördüncü fəsil. Dissertasiyanın dördüncü fəslı quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi və su axınının təcridi üçün hazırlanmış tərkiblərin tətbiqinin nəticələrini əhatə edir.

Quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi üçün hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkibin təcrübə-mədən sınaqları Verxne-Şapşinsk yatağında aparılmışdır. Hasilat quyularında laydan qum çıxması aktual istismar problemlərindən biridir. Bu proses quyu debitinin azalmasına, avadanlığın zədələnməsinə və istismar xərclərinin

artmasına səbəb ola bilər. Polimer sistemlərdən istifadə etməklə quyudibi zonanın möhkəmləndirilməsi qum çıxmasını minimuma endirməyə və quyuların iş rejiminin dayanıqlığını artırmağa imkan verir. Yataqda aparılan təcrübə-mədən sınaqları polimer sistemlərin və laya kombinə edilmiş təsir üsullarının tətbiqinə əsaslanan yeni yanaşmaların səmərəliliyini təsdiq etmişdir.

Hazırlanmış tərkibin təcrübə-mədən sınaqları 2023-cü ilin avqust ayında Verxne-Şapşinsk yatağının 5 nömrəli quyu qrupunda (kustda) yerləşən 1004, 1007 və 1009 nömrəli quyularda aparılmışdır. Texnologiyanın məqsədi qum çıxmasının qarşısını almaq, süxurların dayanıqlığını artırmaq və quyuların hasilat göstəricilərini yaxşılaşdırmaq olmuşdur. Göstərilən texnoloji tədbirlərin 1004, 1007 və 1009 nömrəli quyularda həyata keçirilməsi nəticəsində əlavə neft hasilatına nail olunmuşdur. Poliakrilamid və xrom triasetat əsasında hazırlanmış tərkib qum çıxmasını azaltmağa və müşahidə dövründə neft hasilatını 125 ton artırmağa imkan vermişdir.

Urengoy NQKY-də poliakrilamid, polietilenimin və tiokarbamiddən istifadə etməklə su axınının seçici təcridi texnologiyası tətbiq edilmişdir. Hazırlanmış tərkibin təcrübə-mədən sınaqları Urengoy NQKY-nin 1325 (1-57 quyu qrupu) və 1350 (49 quyu qrupu, UKPQ 1-AV) nömrəli qaz-kondensat quyularında aparılmışdır. Əməliyyatlar uğursuz hidravlik yarılmadan (HY) sonra su verən horizontların seçici təcridinə ehtiyac yaranması ilə əlaqədar 2023-cü ilin iyun ayında həyata keçirilmişdir. Texnologiyanın tətbiqi nəticəsində 2024-cü ilin fevral ayınadək 3659 m^3 su hasilatının azalması fonunda 460 ton neft hasilatı artımı əldə edilmişdir. Müşahidələrin nəticələri hasil edilən suyun həcmnin 3659 m^3 azalmasını və neft hasilatının 460 ton artmasını təsdiq etmişdir. Hazırlanmış tərkiblər filtrasiya axınlarının idarə edilməsində və hasilatın sulaşma dərəcəsinin azaldılmasında yüksək səmərəlilik nümayiş etdirmişdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR VƏ TÖVSIYƏLƏR

1. Quyuların quyudibi zonasının möhkəmləndirilməsi üçün tərkiblər:

- Mexaniki möhkəmliyi və termik davamlılığı artırmaq məqsədilə qrafit tipli karbon nitrid nanohissəcikləri (hissəciklərin ölçüsü 45–75 nm) ilə modifikasiya edilmiş epoksid qatranı əsasında tərkib hazırlanmışdır. Laboratoriya sınaqları göstərmişdir ki, 0,5 % nanohissəcik əlavə edilməsi modifikasiya edilməmiş tərkiblə müqayisədə elastiklik modulunu 37 %, termik davamlılığı isə 21 % artırır. Keçiriciliyi 120–160 mD olan məsaməli mühitlərdə aparılan sınaqlar mexaniki hissəciklərin miqrasiyasının 59 % azaldığını təsdiq etmişdir ki, bu da tərkibin quyuların quyudibi zonasının möhkəmləndirilməsi üçün səmərəliliyini göstərir. [5]

- Adgeziya xassələrini və mexaniki yüklərə davamlılığı yaxşılaşdırmaq məqsədilə silisium dioksid nanohissəcikləri (ölçüsü 20–50 nm) əlavə edilmiş karbamid-formaldehid qatranı əsasında tərkib hazırlanmışdır. Laboratoriya tədqiqatları göstərmişdir ki, 0,5 % nanohissəcik əlavə edildikdə materialın möhkəmliyi 42 %, termik degradasiyaya davamlılığı isə 18 % artır. Keçiriciliyi 150–200 mD olan qumdaşı nümunələrində aparılan təcrübələr bu tərkiblə emaldan sonra məsaməli mühitin eroziyasının 67 % azaldığını təsdiq etmişdir. [7]

- Molekulyar kütləsi 8 milyon Da olan 2-akrilamido-2-metilpropansulfon turşusu (AMPS) sopolimeri əsasında, xrom triasetatla (konsentrasiyası 5 q/l) tikilmiş polimer tərkibi hazırlanmışdır. Keçiriciliyi 150–200 mD olan kernlərdə sınaqlar aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, 15 % gel əmələ gətirən məhlulun vurulması bərk hissəciklərin miqrasiyasını 64 % azaldır və kernlərin mexaniki möhkəmliyini 29 % artırır. [9]

2. Quyuya su axınının məhdudlaşdırılması üçün tərkiblər:

- Molekulyar kütləsi 5–6 milyon Da olan qismən hidrolizə olunmuş poliakrilamid (QHPA) əsasında su axınının təcridi üçün gel əmələ gətirən tərkib hazırlanmış və optimallaşdırılmışdır. Tikici agent kimi kalium dixromat/tiokarbamid sistemindən istifadə edilmişdir ($K_2Cr_2O_7$ konsentrasiyası – 3000 ml⁻¹). “Azəri-Çıraq-Günəşli” (AÇG) yatağının kernlərində aparılan laboratoriya sınaqları

nümunələrin keçiriciliyinin 181,5 mD-dən 35,4 mD-yə, yəni 80,5 % azaldığını göstərmişdir. Qalıq müqavimət əmsalı (RRF) 5,1 təşkil etmişdir. Gel əmələ gəlmə müddəti tikici konsentrasiyasından asılı olaraq 6 saatdan 103 saata qədər dəyişmişdir. [1]

- 110 °C-yə qədər temperaturda dayanıqlı olan kolloid silisium dioksid əsasında yüksəktemperaturlu gel sistemi hazırlanmışdır. Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, SiO₂ konsentrasiyasının 15 %-dən 35 %-ə artırılması gel əmələ gəlmə müddətini 26 saatdan 1 saata qədər azaldır. NaCl konsentrasiyası 5 % olduqda gel əmələ gəlmə prosesi demək olar ki, ani başlamış, 2 % NaCl olduqda isə 5,5 saat davam etmişdir. Keçiriciliyi 500–700 mD olan məsaməli mühitdə aparılan tədqiqatlar 110 °C temperaturda 24 saat saxlanıldıqdan sonra yüksək qalıq müqavimət əmsalını (RRF = 15,7) təsdiq etmişdir. [3]

- Poliakrilamid (0,4 %), polietilenimin (0,65 %) və 1 % nanosilisium (hissəciklərin ölçüsü 28,6 nm) əsasında nanokompozit polimer kompozisiyası hazırlanmışdır. Kernlərdə aparılan suurma təcrübələri (SWG yatağı, keçiricilik 130 mD) nanohissəciksiz nəzarət nümunəsi ilə müqayisədə qalıq müqavimət əmsalının (RRF) 58 % artdığını göstərmişdir. DSK təhlili sərbəst suyun miqdarının azaldığını və gəlin dayanıqlığının artdığını təsdiq etmişdir. [8]

3. Aşağıdakı proseslər üçün yeni üsullar işlənilib hazırlanmışdır:

- Silikat gellərinin süxurun keçiriciliyinə təsiri tədqiq edilmişdir. Laboratoriya təcrübələri göstərmişdir ki, 1 % NaOH məhlulu silikat gelini səmərəli şəkildə dağıdaraq qalıq müqavimət əmsalını 300-dən 15,7-yə qədər azaldır. Qum lay modelində (keçiricilik 1200 mD, temperatur 60 °C) aparılan suurma təcrübələri zamanı müəyyən edilmişdir ki, NaOH 12 saatlıq saxlanma müddətindən sonra gel tıxaclarının 95 %-ə qədərini aradan qaldırır. [4]

- Müvəqqəti tıxayıcı agent və gel əmələ gətirən tərkibdən istifadə etməklə su axınının təcridi üçün innovativ metodika hazırlanmışdır. Laboratoriya təcrübələrində gəlin neftli zonalara nüfuzunun qarşısını alan müvəqqəti filtrasiya qabığı yaratmaq üçün ksantan polimerinin 0,5 %-li məhlulunda sellüloz liflərinin 3 %-li suspenziyasından istifadə edilmişdir. QHPA əsaslı polimer gəlinin vurulmasından və sonradan filtrasiya qabığının fermentlərlə

parçalanmasından sonra kernlərin bərpa olunmuş keçiriciliyi ilkin qiymətin 92 %-ni təşkil etmişdir. [2]

- Quyu dibi zonanın möhkəmləndirilməsi və su axınının təcridi üçün hazırlanmış tərkiblərin tətbiqi nəticəsində aşağıdakılar əldə edilmişdir:

- Verxne-Şapşinsk yatağının 1004, 1007 və 1009 nömrəli quyularında aparılan təcrübə-mədən sınaqları hazırlanmış tərkibin qumlu kollektorların sabitləşdirilməsində səmərəli olduğunu təsdiq etmişdir. 15–20 m³ polimer məhlulunun vurulması və ardınca 8–10 m³ bufer mayesi ilə sıxışdırılması bərk hissəciklərin çıxmasını 61 % azaltmağa və quyu dibi zonanın mexaniki möhkəmliyini 39 % artırmağa imkan vermişdir. Emaldan sonra hasil edilən məhsulda mexaniki qarışıqların miqdarının 54 % azaldığı müşahidə edilmiş, bu isə nasos avadanlığının xidmət müddətinin uzadılmasına və təmir işlərinin tezliyinin azalmasına şərait yaratmışdır. Nəticədə müşahidə dövründə əlavə neft hasilatı 125 ton təşkil etmiş, təkrar tədbir aparılmadan emal effektinin davamlılığı isə 7 aya çatmışdır.

- Hazırlanmış gel əmələ gətirən tərkibdən istifadə etməklə Urengoy NQKY-nin 1325 və 1350 nömrəli quyularında su axınının seçici təcridi üzrə işlər aparılmışdır. 15–20 m³ məhlulun vurulması su verən zonaların səmərəli təcridini və hasil edilən məhsulun sulaşma dərəcəsinin azalmasını təmin etmişdir. Monitoring nəticələrinə görə, müşahidə dövründə hasil edilən suyun həcmi 3659 m³ azalmış, karbohidrogen hasilatı isə 460 ton artmışdır. Bundan əlavə, karbohidrogen hasilatının artması, hasil edilən suyun separasiyası və utilizasiyası həcmnin azalması hesabına istismar xərclərinin aşağı düşdüyü qeyd olunmuşdur.

Dissertasiyanın əsas məzmunu və nəticələri aşağıdakı işlərdə dərc edilmişdir:

1. Şovgenov, A. D. Su axınının təcridi üçün gel kompozisiyası / A. D. Şovgenov // SOCAR Proceedings, – 2020. № 3, – s. 59–71.
2. Veliyev, E. F., Shovgenov, A. D. Novel water shut-off method based on temporary plugging agent and gel composition shut-off / E. F. Veliyev, A. D. Shovgenov // SOCAR Proceedings, – 2023. № SI1, – s. 96–101.
3. Veliyev, E. F., Shovgenov, A. D., Mehdiyev, B. R. Assessing silica-based gel system for high-temperature water shut-off applications / E. F. Veliyev, A. D. Shovgenov, B. R. Mehdiyev // SOCAR Proceedings, – 2023. № SI2, – s. 26–32.
4. Veliyev, E. F., Shovgenov, A. D., Mehdiyev, B. R. A study on the mitigation of formation damage caused by excessive silica-based gel application in water shut-off treatments / E. F. Veliyev, A. D. Shovgenov, B. R. Mehdiyev // SOCAR Proceedings, – 2023. № SI2, – s. 33–38.
5. Veliyev, E. F., Shovgenov, A. D. Enhancing sand control in loose reservoirs: nanofluid application / E. F. Veliyev, A. D. Shovgenov // SOCAR Proceedings, – 2024. № SI1, – s. 6–11.
6. Şovgenov, A. D. Su axınının təcridi üçün gel kompozisiyası / A. D. Şovgenov // Aşirov Oxuları, – 2020. № 1(12), – s. 124–131.
7. Shovgenov, A. Application of a Chemical Composition with Nanoparticle Additives for Sand Control // V International Scientific Conference of Young Researchers. – Bakı, – 29–30 aprel, 2020, – s. 268–271.
8. Suleymanov, A. B., Shovgenov, A. D. Nanocomposite polymer composition for water shut-off treatment at high formation temperature // SPE Annual Caspian Technical Conference, – Virtual: oktyabr, – 2021. SPE-207066-MS.
9. Şovgenov, A. D. Qum çıxması ilə mübarizə üçün gel əmələ gətirən tərkibin tətbiqi // Bulatov Oxuları: V Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransın Materialları, – Krasnodar: –31 mart, 2021, – s. 277–280.

İddiaçının şəxsi töhfəsi

[1, 6, 7, 9] nömrəli elmi işlər iddiaçı tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir;

[2–5, 8] nömrəli elmi işlərdə iddiaçı məsələnin qoyuluşunda, tədqiqatların aparılmasında və əldə edilmiş nəticələrin ümumiləşdirilməsində iştirak etmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 03 noyabr 2026-cı il tarixində saat 11:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti, 34.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir (<https://asoiu.edu.az/>).

Avtoreferat “02” oktyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.10.2026

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39868

Tiraj: 30