

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**NEFTÇIXARMADA HİDRAVLİK SİSTEMLƏRDƏKİ
REOFİZİK PROSESLƏRİN ELEKTROKİNETİK
TƏNZİMLƏNMƏSİ**

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

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Aidə Ramiz qızı Aslanova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2025

Dissertasiya işi SOCAR-ın Bakı Ali Neft Məktəbinin Neft-qaz Mühəndisliyi kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

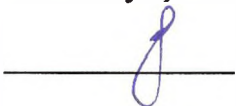
Texnika elmləri doktoru, professor
Fuad Həsən oğlu Vəliyev

Rəsmi opponentlər:

AMEA- nın müxbir üzvi, texnika
elmləri doktoru, professor,
Calalov Qərib İsaq oğlu
Texnika elmlər doktoru, dosent,
Xəlilov Mübariz Sevdimalı oğlu
Texnika elmlər namizədi, dosent,
Bağırov Oktay Təhmasib oğlu

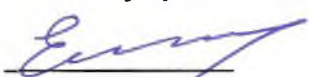
Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



Texnika elmlər doktoru, dosent
Arif Ələkbər oğlu Süleymanov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:



Texnika elmləri namizədi, dosent
Yelena Yevgenyevna Şmonçeva

Elmi seminarın sədri:



Texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Arif Mikayıl oğlu Məmməd-zadə

İmzaları təsdiq edirəm:

ADNSU-nun

Elmi katibi: 

Texnika elmləri namizədi, dosent
Narmina Tərhan qızı Əliyeva



İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Son iyirmi illikdə, kiçik və ultra-kiçik keçiricilikli qeyri-ənənəvi neft və qaz resurslarının işlənməsi və istismarı, bütün dünyada, eləcə də, Azərbaycanda neft sənayesinin və qlobal enerji təchizatının əsas tələblərindən biridir.

Hal-hazırda, dünya üzrə təsdiq olunmuş ehtiyatların 10%-i aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli karbohidrogen yataqlarının payına düşür. Aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli neft və qaz yataqları ABŞ, Kanada, Çin, Argentina, Rusiya, Meksika, Ərəbistan kimi dünya ölkələrinin əsas karbohidrogen resurslarını təşkil edir. Rusiyada Bazhenov, Abalak, Domanik, Achimov, Tümen, Çində Lonqmaksi, Dadong, Kuche, Shaya, Yanchang, Heshui, Junggar, Dengloulou, Sishuqou, ABŞ-da Spraberry Bakken, Mallercus, Haynesville, Niobrara, Barnett, Utika, Monterey, Fayetteville, Ərəbistanda Unayzah, Barik və Amin kimi iqtisadi əhəmiyyətli məhsuldar laylar aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli neft və qaz yataqları ilə zəngindir¹.

Azərbaycanın karbohidrogen resurslarının da müəyyən hissəsini aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli karbohidrogen yataqları təşkil edir.

Aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli kollektorlar, əsasən, gilli, sıx qumlu və karbonatlı lay süxurlarından təşkil olunur və zəif məsaməlilik, keçiricilik və məhsuldarlıq ilə xarakterizə olunur. Belə kollektorlar aşağı keçiricilikli ($50 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$), çox aşağı keçiricilikli ($10 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$), ultra-aşağı keçiricilikli ($1 \cdot 10^{-3} - 0.1 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$) və keçirici olmayan ($< 0.1 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$) kollektorlar sinfinə bölünür².

Bu lay süxurlarının isə neftvermə əmsalı orta hesabla 20%-dir

¹ Yang, G. A comparative study of geological conditions of tight oils in China and USA / G. Yang, L. Qun, Z. Zeyuan [et al.] // Petroleum Geology & Experiment, - 2022. V. 44. № 2, p. 199-209

² Dongqi, W. Fine classification of ultra-low permeability reservoirs around the Placanticline of Daqing oilfield / W. Dongqi, Y. Daiyin, Z. Yazhou // Journal of Petroleum Science and Engineering, - 2019. V. 174. № 4, p. 1042-1052

və ehtiyatların böyük qismi qalıq ehtiyat kimi yeraltında qalır³.

Bu növ yataqların işlənməsində yaranan əsas çətinliklərdən biri aşağı keçiricilikli süxurlarda və mikroçatlarda maye axınının reofiziki xüsusiyyətlərində anomalionaların təzahür etməsidir. Aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli süxurlarda maye və süxurun təmas zonasında özlü lay mayələrinin hərəkəti zamanı süzülmə prosesinin xətti asılılığı pozulur, bu isə müvafiq olaraq Darsi qanununun pozulmasına səbəb olur. Eyni zamanda, aşkar edilmişdir ki, müəyyən kritik həddən başlayaraq mikroçatların açıqlığı azaldıqca, özlü mayədə (su, neft, emulsiyalar) başlanğıc təzyiq gradientinin təzahürü ilə qeyri-Nyuton xüsusiyyətlər müşahidə olunur⁴. Bu süxurlar təzyiq dəyişməsinə çox həssas olduğu üçün, başlanğıc təzyiq gradientinin təzahürü və artması, yatağın keçiriciliyinin kəskin azalmasına səbəb olur. Bu isə axının əhəmiyyətli dərəcədə zəifləməsi və hətta dayanması ilə nəticələnir.

Baxmayaraq ki, özlü mayələrin aşağı keçiricilikli məsaməli mühitdə və mikroçatlarda hərəkəti zamanı təzahür edən anomal hidrodinamik xüsusiyyətləri izah etmək üçün müxtəlif yanaşmalar mövcuddur, bu günə qədər bu hadisələrin mexanizmi ilə bağlı fikir birliyi yoxdur.

Azərbaycanın ənənəvi neft-qaz yataqlarının böyük qisminin son işlənmə mərhələlərində olması və nəticə etibarilə, aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli neft kollektorlarının sürətlə istismara cəlb olunması qoyulmuş məsələnin aktuallığını müəyyən edir.

Bu sahədə mövcud elmi işlərin heç birində aşağı və ultra-aşağı keçiricilikli məsaməli mühitlərdə və mikroçatlarda sistemin elektrokinetik potensialının mayələrin reofizik xüsusiyyətlərinə, eləcə də, axın parametrlərinə təsiri nəzərə alınmamışdır.

Mövcud vəziyyət aşağı keçiricilikli kollektorlarda və mikroçatlarda mayələrin süzülməsi proseslərinin və hərəkət

³ Zhou, X. Research on the recovery efficiency of crude oil in tight reservoirs with different pore sizes / X. Zhou, G. Zhang, J. Wei // Energy, - 2024. V. 306. № 2, p. 1-13

⁴ Mammadova, M.A., Gurbanov, R. S. Hydromechanical substantiation of the microcrack-fluid effect // - Mechanics, 2022. V. 22. № 6, p. 483-488

qanunauyğunluqlarının öyrənilməsində yeni elmi yanaşmaların işlənilib hazırlanmasını tələb edir.

Təqdim olunmuş dissertasiya işində Nyuton və qeyri-Nyuton mayelərin (su, neft və emulsiyalar) mikroçat modelində hərəkəti zamanı təzahür edən anomal xüsusiyyətləri (Nyuton mayenin qeyri-Nyuton mayeyə keçid etməsi və qeyri-Nyutonluq xüsusiyyətlərinin kəskinləşməsi) stasionar və qeyri-stasionar üsullarla öyrənilmiş və sistemin elektrokinetik potensialının fiziki və kimyəvi üsullarla azaldılması yolu ilə anomal xüsusiyyətlərin əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədilməsi, axın parametrlərinin yaxşılaşdırılması və sıxışdırma prosesində effektivliyin artırılması istiqamətində yeni elmi yanaşmalar təklif edilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqat işinin əsas obyektı mikroçat modelin əsasında, elektrokinetik amillərin təsirini nəzərə almaqla, özlü mayelərin reofizik xüsusiyyətlərində təzahür edən anomal xassələrin öyrənilməsi və aradan qaldırılması üçün yeni elmi yanaşmaların işlənilib hazırlanmasıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin əsas məqsədi, model tədqiqatlar əsasında, elektrokinetik amilin rolunu nəzərə almaqla, mikroçatlarda lay mayelərinin hərəkətinin reofizik xüsusiyyətlərinin kompleks şəkildə öyrənilməsi, hidravlik sistemin elektrostatik potensialını kimyəvi və fiziki təsirlərlə tənzimləməklə mikroçatların süzülmə xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırmaq imkanlarının müəyyən edilməsidir.

Tədqiqat metodları. Mikroçat modeli əsasında laboratoriya şəraitində reofizik parametrlərin təyin edilməsi üzrə eksperimental tədqiqat işlərinin aparılması

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

Müdafiəyə çıxarılan müddəalar aşağıdakılardır:

1. Antistatik qatqılarla və fiziki təsirlərlə mikroçatlarda mayelərin elektrostatik potensialını kiçiltməklə, özlü mayelərin özlü-plastik mayələr təki təzahür etməyə başladığı çat açıqlığının kritik qiymətinin (h_{kr}) və limit sürüşmə gərginliyinin (τ_0) azaldılması, və uyğun olaraq, axının qeyri-Nyuton xarakterinin əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədilməsi

effektinin aşkar edilməsi, və beləliklə, mikroçatlarda süzülən özlü mayelərdə, Darsi qanununun pozulması ilə müşayiət olunan, qeyri-Nyuton xüsusiyyətlərin təzahür etməsində sistemin elektrokinetik potensialının, bir faktor olaraq, həlledici təsirinin təsdiq edilməsi.

2. Antistatik qatqıların, hidravlik sistemlərdə elektrostatik potensialın maksimum azaldılmasını təmin edən, optimal konsentrasiyasının təyin edilməsi
3. Mikroçatlarda təzyiqin bərpa ayrılırları əsasında təsbit edilmiş, hidravlik sistemdə elektrokinetik potensialın kiçildilməsi ilə reofizik ötürülmə prosesinin intensivləşməsi, və uyğun olaraq, sistemdə təzyiqin relaksasiya müddətinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması effekti.
4. Mikroçatlarda neftin su ilə sıxışdırılması prosesində effektivliyin elektrokinetik faktordan asılı olmasının və suyun elektrik potensialının azaldılması ilə sıxışdırma əmsalının artırılması imkanının təsdiq edilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

1. Mikroçatlarda elektrokinetik potensialın lay mayələrinin (su, neft, emulsiyalar) axınının reofizik xüsusiyyətlərinə təsiri kompleks şəkildə tədqiq olunmuş və mikroyarıqda süzülən özlü mayelərdə, Darsi qanununun pozulması ilə müşayiət olunan, qeyri-Nyuton xüsusiyyətlərin təzahür etməsində sistemin elektrokinetik potensialının, bir faktor olaraq, həlledici təsiri təsdiq edilmişdir. Mikroyarıqların müxtəlif açıqlığı (h) üçün, çıxarılmış $Q=Q(\Delta P)$ axma ayrılırları əsasında, Binqam modelinə uyğun olaraq, axının reoloji parametrləri təyin olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, axının elektrokinetik potensialının azaldılması mikroçatların süzülmə xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşması ilə müşayiət olunur ki, bu da özlü mayələrin özlü-plastik mayələr təki təzahür etməyə başladığı çat açıqlığının kritik qiymətinin (h_{kr}) və limit sürüşmə gərginliyinin (τ_0) ciddi şəkildə azalması ilə təzahür edir.
2. Antistatik reagentin optimal konsentrasiyasını təyin etmək məqsədilə aparılmış təcrübələrdə, tədqiq olunan mayələrin

elektrostatik potensialının antistatik aşqarın konsentrasiyasından asılılılığının qeyri-xətti xarakter daşdığı aşkar edilmiş və ultra kiçik dozalarda antistatik qatqıların hidravlik sistemin elektrostatik potensialını əhəmiyyətli dərəcədə azalda biləcəyi müəyyən edilmişdir.

3. Mikroçatlarda təzyiqin bərpa ayrılırları əsasında təsbit edilmiş, hidravlik sistemdə elektrokinetik potensialın kiçildilməsi ilə reofizik ötürülmə prosesinin intensivləşməsi, və uyğun olaraq, sistemdə təzyiqin relaksasiya müddətinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması effekti aşkar edilmişdir.
4. Mikroçatlarda neftin su ilə sıxışdırılması prosesində effektivliyin elektrokinetik faktordan asılı olmasının və suyun elektrik potensialının azaldılması ilə sıxışdırma əmsalının önəmli nisbətə artırılması imkanı eksperimental olaraq təsdiq edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Elektrokinetik təsirləri nəzərə alaraq, mikroçatlarda lay mayələrinin hərəkətinin reofizik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi və hidravlik sistemin elektrostatik potensialının elektrokinetik tənzimlənməsi yolu ilə mikroçatların süzülmə xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması aşağı keçiricilikli və mikroçatlı neft yataqlarının işlənməsinin iqtisadi səmərəliliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artırılmasında istifadə oluna bilər.

Lay mayələrinin reofizik xüsusiyyətlərinin elektrokinetik tənzimlənməsi mikroçatlı laylarda sıxışdırma prosesinin intensivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırılmasında və nəticə etibarilə, neftvermə əmsalının artırılmasında tətbiq oluna bilər.

Tədqiqat işinin əsasında yazılmış və Scopus indeksli beynəlxalq jurnallarda dərc olunmuş məqalələr Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası tərəfindən ardıcıl olaraq 2023 və 2024-cü illərdə “İlin ən mühüm nəticələri” siyahısına daxil edilmişdir.

Müəllifin şəxsi iştirakı. Dissertasiyada əks olunmuş praktik nəticələr müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Məsələnin qoyuluşu, laboratoriya işlərinin aparılması, nəticələrin təhlili, sistemləşdirilməsi və ümumiləşdirilməsi müəllifin iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

İşin aprobeiasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir:

- XXI Beynəlxalq Elmi Simpozium "Modern Dünyada Elm və Mədəniyyət", Stokholm, İsverçrə, 26 Dekabr, 2021
- XXXII Beynəlxalq Elmi Simpozium "Türklərin Qələbəsi: Çanaqqaladan Qarabağa" (The XXXII International Scientific Symposium "Turk's Victory: from CHANAKKALE to KARABAKH"), Kars-Eskisehir, Türkiyə, 26 Noyabr, 2022
- NASCO, Doktorant və Gənc Tədqiqatçıların XXV Respublika Elmi Konfransı, Bakı, Azərbaycan, Noyabr, 2022
- Bilimsel Araşdırmalar Tezis və Məqalələr Toplusu (Scientific Researchers Collection of Thesis and Articles), 2022
- NASCO, Doktorant və Gənc Tədqiqatçıların XXVI Respublika Elmi Konfransı, Bakı, Azərbaycan, Noyabr, 2023
- Kimyəvi Termodinamika Üzrə Beynəlxalq Konfrans, (International Conference on Chemical Thermodynamics), Osaka, Yaponiya, 1-4 Avqust, 2023
- Mühəndislik, Elm və Texnologiya üzrə Beynəlxalq Konfrans (International Conference of Engineering, Science and Technology), Las Vegas, ABŞ, 16-17 Oktyabr, 2023
- "Xəzər Ölçmələri" Beynəlxalq Elmi Konfransı (International Scientific Conference-Caspian Dimensions), Atyrau, Qazaxıstan, 24 Oktyabr, 2023
- Müasir Elmlər Üzrə Beynəlxalq Asiya Konqresi-IX (International Asian Congress On Contemporary Sciences – IX), Bakı, Azərbaycan, 1-3 Noyabr, 2023
- "İnformasiya Sistemləri Və Texnologiyaları Geologiya və Neft-Qaz Hasilatında" Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfrans (Международной научно-практической конференции «Информационные Системы и Технологии В Геологии И Нефтегазодобыче»), Tumen, Rusiya, 16-17 Noyabr, 2023
- International Innovative Studies and Contemporary Scientific Research Congress Tokyo Summit VIII (Beynəlxalq İnnovativ Tədqiqatlar və Müasir Elmi Tədqiqat Konqresi, Tokyo Sammiti VIII), Tokyo, Yaponiya,

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.
SOCAR-ın Bakı Ali Neft Məktəbinin Neft-qaz mühəndisliyi kafedrası

Dissertasiyanın strukturu və həcmi.

Dissertasiya işi giriş, 4 fəsil, nəticələr, istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından, 69 şəkil və 6 cədvəldən, ibarətdir. Giriş 12796, birinci fəsil 77272, ikinci fəsil 5344, üçüncü fəsil 51084, dördüncü fəsil 26906 və nəticələr 3347 olmaqla, dissertasiya işi ümumilikdə 176749 işarədən ibarətdir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Dissertasiya işi elektrokinetik amilin təsiri nəzərə alınmaqla, mikroçatlarda lay mayələrinin axınının reofiziki xüsusiyyətlərinin, model tədqiqatlar əsasında, kompleks şəkildə öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Mikroçatlarda müxtəlif maye axınlarının reofizik xüsusiyyətlərinin tənzimlənməsində, eləcə də sıxışdırma proseslərinin idarə olunmasında axın potensialının müstəsna rolu təyin edilmişdir. Aşkar edilmiş “elektro-reostress” effektinin aşağı keçiricilikli məsaməli mühitlərdə və mikroçatlarda mayələrin reofizik xüsusiyyətlərinin kəskinləşməyə başladığı kritik açıqlığın azaldılmasında və maye axınının bərpası və intensivləşdirilməsində əhəmiyyətli rolu olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, tədqiqat metodları və qoyulmuş məsələlərin həlli üsulları, elmi yeniliklər, işin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, işin aprobeasiyası, strukturu və həcmi haqqında məlumat verilmişdir.

Birinci fəsildə neftçıxarma sistemlərində termohidrodinamik proseslərin reofizik tənzimlənməsinin elmi-praktiki məsələləri öz əksini tapmışdır. Mövzu üzərində bugünə qədər görülmüş yerli və beynəlxalq elmi işlər öyrənilmiş və nəticələrin yığcam təsviri verilmişdir.

Eyni zamanda, aşağı keçiricilikli kollektorlarda və mikroçatlarda maye axınının reoloji xüsusiyyətləri və hidravlik sistemlərdəki elektrokinetik proseslərin icmalı verilmiş, neft-qaz hasilatı sistemlərində reofiziki hadisələrin öyrənilməsi və fiziki

sahələrin tətbiqi istiqamətində görülmüş işlərin icmalı təqdim edilmişdir.

Reofizik tənzimlənmə üsullarından istifadə etməklə neftçıxarmada texnoloji proseslərin effektivliyinin artırılması üzrə tədqiqatlar, yeni elmi istiqamət olaraq, keçən əsrin 70-ci illərindən başlayaraq geniş vüsət almışdır.

Məmnunluq hissi ilə qeyd etmək lazımdır ki, bu istiqamətin əsas problemlərini müəyyənləşdirən, prinsiplərinin həlli istiqamətində uğurlu fəaliyyət göstərən aparıcı elmi mərkəz həmin illərdə məhz Azərbaycanda formalaşmışdır. Azərbaycan Neft və Kimya İnstitutunda, akademik Azad Mirzəcanzadənin rəhbərliyi ilə neft-qaz hasilatı sistemlərində reofiziki hadisələrin öyrənilməsi və fiziki sahələrin tətbiqi sayəsində alınmış effektlər əsasında texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması üzrə genişmiqyaslı tədqiqatlar aparılmışdır. Azad Mirzəcanzadənin yaratdığı dünyaca tanınmış Elmi Mərkəz uzun illər ərzində fəvqəladə səmərəli fəaliyyət göstərmiş, burada reofizika üzrə bir çox elmi kəşflərə imza atılmış, neft-qaz hasilatının texnoloji proseslərinin tənzimlənməsində kimyəvi üsulların, fiziki sahələrin tətbiqinin elmi və praktiki əsasları işlənib hazırlanmışdır.

Hidravlik sistemlərə təsir göstərmək üçün tədqiqatlarda fiziki sahə olaraq, əsasən, müxtəlif xarakterli, konfigurasiyalı, gərginlikli elektrik və maqnit sahələrindən istifadə edilmişdir.

Elektromaqnit sahələrinin qeyri-maqnitoaktiv hidravlik sistemlərin reofiziki xüsusiyyətlərinə, neft və qaz hasilatının texnoloji prosesləri ilə əlaqəli, təsirini öyrənmək üçün geniş tədqiqat işləri aparılmışdır (Vəliyev F.H.). Müəyyən edilmişdir ki, müəyyən gərginlikli elektromaqnit sahələrin təsiri asfalt-qatranlı neftlərin, su-neft emulsiyalarının hidrodinamik xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasına səbəb olur. Alınmış effekt qeyri-Nyuton sistemlərin nəqlində real boru kəmərlərinin ötürmə qabiliyyətini artırmaq üçün tətbiq edilmişdir. Dəyişən maqnit sahələri ilə təsir etdikdə, qaz-kondensat axınlarının separasiya xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə güclənməsi effekti aşkar olunmuş və sənaye miqyasında tətbiq edilmişdir.

Elektrokinetik potensialın bir çox termohidrodinamik

effektlərin baş verməsində həlledici rolu barədə prof. F.H.Vəliyevin irəli sürdüyü ideya əsasında geniş miqyaslı tədqiqat işləri aparılmış, müəyyən edilmişdir ki, elektromaqnit təsir və antistatik qatqılardan istifadə edərək, hidravlik sistemdə elektrik potensialını fiziki sahə ilə (elektromaqnit sahəsi) və ya kimyəvi qatqılarla (antistatik aşqarlar) azaltmaqla mayələrin termohidrodinamik xassələrini tənzimləmək, o cümlədən, kapilyar borularda hidravlik müqaviməti ciddi şəkildə azaltmaq olar⁵. Bu istiqamətdə aparılmış tədqiqat işləri sırasında O.T.Bağırovun əldə etdiyi nəticələri xüsusi qeyd etmək lazımdır⁶.

Neft-qaz çıxarılma proseslərinin intensivləşdirilməsində elektromaqnit sahələrinin tətbiqi akademik A.X.Mirzəcanzadənin rəhbərliyi ilə Neft və Kimya İnstitutunun (Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye İnstitutu) “Neft yataqlarının işlənməsi və istismarı” kafedrasının əməkdaşları tərəfindən yerinə yetirilmişdir. (A.M. Məmmədzadə, A.M. Bayramov ,T.S. Salavatov, E.M. Abbasov, R.X.Məlikov, L.R.Eydelman, və başqaları).

Bu geniş miqyaslı tədqiqat işlərinin həyata keçirilməsində prof. A.M.Məmməd-zadənin xüsusi aparıcı rolunu qeyd etmək lazımdır. Laboratoriya şəraitində məsaməli modellərdə aparılmış təcrübələrdən başlamış çox sayda yataqlarda aparılmış sənaye miqyaslı tətbiq işlərinə qədər reallaşdırılmış çoxcəhətli tədqiqat nəticəsində elmi və praktiki nöqteyi-nəzərdən mühüm nəticələr alınmış, müəyyən edilmişdir ki, məsaməli laydan karbohidrogen sistemlərini sıxışdırıb çıxarmaq məqsədilə yatağa vurulan suya, ilkin olaraq, müəyyən intensivlikli maqnit sahəsilə təsir etməklə layın neftvermə əmsalını ciddi şəkildə artırmaq mümkündür⁷.

⁵ Велиев Ф.Г., Научные и практические основы применения физических полей в регулировании технологическими процессами нефтедобычи. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Баку, 1983

⁶ Багиров О.Т. Исследование электризации газожидкостных потоков и методов их регулирования с целью повышения производительности газлифтных скважин. Автореферат дис.канд.техн.наук. Баку, 1985

⁷ A.M. Məmmədzadə, Neftqazçıxarmada fiziki sahələrin və qeyri-tarazlı effektlərin tətbiqinin nanotexnoloji əsasları. Monoqrafiya, 207 s., Bakı, 2021.

Son otuz illikdə, məsaməli mühitdə mayelərin süzülməsi məsələləri üzrə aparılmış geniş tədqiqat işləri nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, özlü mayelərin mikrokanallarda axını Darsi qanununun pozulması və Nyuton mayenin qeyri-Nyuton xüsusiyyət əldə etməsi ilə müşayiət oluna bilər (V.A. Baykov, Li Syuanjan, Kolonskix, Makatrov, Politov, Davletovanın, Xiaolong Yinin, Yu-Shu Vun, Faruk Civan, Yang Qinglan, Vei Xiong, Prada Alvaron və başqaları).

Mikroçatlarda aparılmış təcrübələrdə aşkar edilmişdir ki, yarıqların açıqlığı kiçildikcə, müəyyən kritik ölçüdən başlayaraq, axma prosesində qeyri-xətti xüsusiyyətlər təzahür edir, Darsi qanunu pozulur və Nyuton mayelər qeyri-Nyuton mayələrə çevrilir⁸.

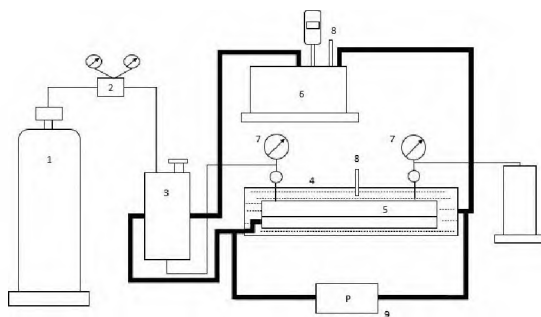
Özlü mayenin mikrokanallarda süzülmədə qeyri-Nyuton maye olaraq təzahür etməsini müxtəlif yanaşmalarla izah etmək cəhdləri olsa da, elektrokinetik faktorun rolu nəzərə alınmadığından, prosesin tənzimlənməsi üzrə elmi-praktiki konsepsiyanın işlənməsi mümkün olmamışdır.

İkinci fəsildə tədqiqat işlərinin aparıldığı kompleks laboratoriya qurğusu haqda geniş məlumat verilmişdir. Eyni zamanda, tədqiqat işlərinin nəticələrinin analiz üsulları haqda yığcam məlumat da öz əksini tapmışdır.

Nyuton və qeyri-Nyuton xassəli mayelərin mikroçatlarda hərəkətinin eksperimental tədqiqi məqsədilə iki polad hamar lövhədən ibarət mikroçat modelindən istifadə edilmişdir. Polad lövhələrin iç səthində uzunluğu 30 sm, eni isə 40 mm olan ultra-kiçik ölçülü yarıq yerləşdirilmişdir. Yarığın ölçüsünü tənzimləmək üçün qurğunun kağızdan istifadə edilmişdir. Əlavə olaraq, eksperimental qurğu yüksək təzyiqli qaz balonundan, tənzimləyici konduktordan, mayeni saxlamaq üçün konteynerdən, ultra-kiçik yarıqlı mikroçat modeldən, mikroçat modelin giriş və çıxışında təzyiqlər fərqi

⁸ Mamedova, M. A., Gurbanov, R. S. Investigation of the Rheology of Fluids in Fracture and Pore Channels and Determination of Their Opening // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2015. V. 88. № 4, p. 815-824

ölçmək üçün manometrdən, sabit temperatur şəraitini təmin etmək üçün termostatdan və termometrlərdən, modelin giriş və çıxışında potensiallar fərqi üçün isə potensiometrdən ibarətdir (Şəkil 1).



Şəkil 1. Eksperimental qurğunun sxemi:

1-yüksək təzyiqli qaz balonu, 2-tənzimləyici konduktor, 3-konteyner, 4-termovanna, 5-mikroçat model, 6-termostat, 7-manometr, 8-termometr, 9- potensiometr

Nyuton və qeyri-Nyuton mayelərin mikroçat modelində hərəkəti zamanı təzahür edən və kəskinləşən anomal reofizik xüsusiyyətləri öyrənmək məqsədilə geniş laboratoriya işləri aparılmış və nəticələr axma əyriləri $Q=Q(\Delta P)$ və sürət qradientinin sürüşmə gərginliyindən asılılıq əyriləri $\gamma=\gamma(\tau)$ əsasında öyrənilmişdir. İki paralel lövhə arasında laminar rejimdə axan mayenin axın sürəti məlum $Q = bh^3\Delta P/12\mu L$ düsturu ilə təyin edilmişdir. Burada b , L və h müvafiq olaraq, mikroçat modelin yarığının eni, uzunluğu və açıqlığıdır. γ və τ parametrləri isə, müvafiq olaraq, $\gamma = 6Q/bh^2$ və $\tau = \Delta P h/2L$ düsturları əsasında hesablanmışdır.

Baxılan mayelərin hər biri üçün, mikroçatın kritik açıqlıq qiyməti h_{kr} təyin edilmişdir. Təsdiq edilmişdir ki, açıqlığın $h \leq h_{kr}$ qiymətlərində xətti süzülmə prosesi pozulur, Nyuton maye (su) qeyri-Nyuton mayeyə keçid edir, qeyri-Nyuton mayenin (emulsiya) isə qeyri-xətti xüsusiyyətləri daha da kəskinləşir. Mikroçatlı mühitin kritik açıqlığından yuxarı qiymətlərində isə maye özünün ilkin reofizik xüsusiyyətlərini qoruyub saxlayır.

Müəyyən edilmişdir ki, h_{kr} -dən aşağı qiymətlərdə, mikroçat modelin yarığının açıqlığının qiyməti azaldıqca, suyun axın özlülüyü qeyri-xətti olaraq kəskin şəkildə artır və $h=10\text{ }\mu\text{m}$ qiymətində maksimum həddinə çatır. Yarığın h_{kr} -dən yuxarı qiymətlərində axın özlülüündəki dəyişmə praktiki olaraq nəzərə çarpmır.

Təsbit edilmişdir ki, mikroçatlarda mayelərin reoloji xüsusiyyətlərinin kəskin dəyişikliklərə məruz qalması məlum elektro-özlülük effekti (electro viscous effect) ilə izah oluna bilər.

Üçüncü fəsildə mikroçatlarda maye axınlarının reofizik xüsusiyyətlərinin fiziki-kimyəvi təsirlərlə tənzimlənməsinin eksperimental tədqiqi aparılmışdır.

Məlumdur ki, real neftqazkondensat sistemləri heterogen, çoxkomponentli olmaqla, həmçinin, su, asfaltenlər, qətranlar, parafin və digər komponentlərdən ibarətdir. Elektrostatiikanın məlum Koen qaydasına görə, “Dielektrik keçiriciliyi müxtəlif olan iki maddə kontaktda olduqda onlarda elektrik yüklənməsi baş verir – dielektrik keçiriciliyi daha yüksək olan maddə müsbət, digəri isə mənfi yüklənir”⁹. Bu qaydaya əsasən, kontaktda olan komponentlərin sərhəddində İkiqat Elektrik Təbəqəsi (İET) yaranır, və beləliklə, real heterogen karbohidrogen sistemi dispersion mühitin həcmində paylanmış sonsuz sayda lokal ion-elektrostatik mikrosahələrin mürəkkəb kompozisiyası şəklində təzahür edir. Bu kompozisiyada İET neft-su, neft-qaz, kondensat –su, su-qaz, parafin-su və digər sərhəd səthlərində yaranır.

Borularda və böyük ölçülü məsaməli mühitlərdə İET-nin qalınlığı axın ölçüləri ilə müqayisədə çox kiçik olduğu üçün, axın parametrlərində xüsusi təsiri təzahür etmir. Lakin, mikrokanallarda və kiçik ölçülü məsaməli mühitlərdə, İET-nin qalınlığı axın ölçüləri ilə müqayisəolunabilən tərtibdə olduğu üçün, elektrokinetik faktor axın xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

Mikroçatlarda hidravlik sistemlərin hərəkəti zamanı, elektrokinetik effektlərin təsiri, təzahür edən anomal reofizik xüsusiyyətlərin tənzimlənməsində sistemin elektrokinetik potensialının rolunu müəyyənləşdirmək üçün geniş tədqiqat işləri

⁹ Loeb, L. B. (1958). Static Electrification. Springer Berlin Heidelberg, p. 51

aparılmışdır.

İlkin təcrübələr su ilə mikroçat modelin yarığının kritik qiyməti ($25 \mu m$) daxil olmaqla, dörd fərqli açıqlığında – $10 \mu m$, $15 \mu m$, $20 \mu m$, $25 \mu m$ aparılmışdır. Modelin çıxış təzyiqi atmosfer təzyiqinə tənzimlənmiş, giriş təzyiqi isə konduktor vasitəsilə 0.5×10^5 Pa – 5×10^5 Pa aralığında dəyişdirilmişdir. Maye axını yalnız qərarlaşdıqdan sonra, $Q=Q(\Delta P)$ asılılığı çıxarılmışdır.

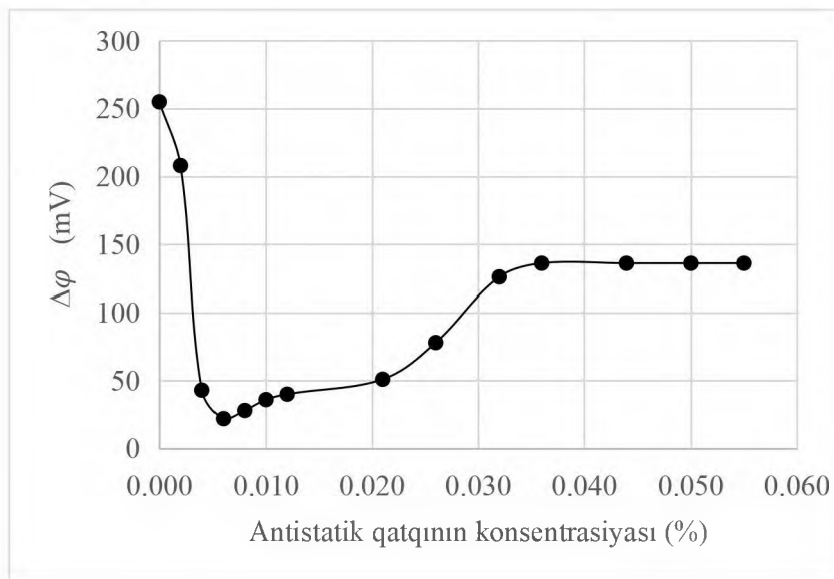
Yarığın açıqlığının $h \geq h_{kr}$ qiymətlərində su axını Nyuton maye xüsusiyyətlərini qoruyur. Lakin, h_{kr} -dən başlayaraq, h azaldıqca xətti süzülmə prosesi pozulur və hidravlik sistemdə qeyri-Nyuton xüsusiyyətlər təzahür edir. Alınmış $Q=Q(\Delta P)$ ayrılıqları axının aşkar şəkildə Binqam modelinə uyğun olduğunu göstərmişdir. Özlülük, məlum $\mu = bh^3 \Delta P / 12QL$ düsturu əsasında, başlanğıc sürüşmə gərginliyi nəzərə alınmaqla, h -in 4 fərqli qiymətində hesablanmışdır.

Su və su-neft emulsiyalarının elektrokinetik potensialını tənzimləmək üçün antistatik əlavələrdən istifadə edilmişdir. Suyun elektrokinetik potensialının tənzimlənməsi üçün antistatik agent kimi ND-12 reagenti, su-neft emulsiyalarının statik potensialını tənzimləmək üçün isə antistatik reagent kimi təbii neft turşusunun xrom duzunun 5%-li məhlulundan istifadə edilmişdir.

İlk öncə, antistatik əlavələrin optimal konsentrasiyasını təyin etmək üçün suyun elektrod potensialının qatqının təsiri ilə dəyişmə tendensiyası öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu asılılıq monoton deyil və minimum potensial reagentin çox az miqdarında təzahür edir. Başlanğıcda, konsentrasiyanın artması ilə potensial azalır, lakin minimuma çatdıqdan sonra əks proses müşahidə olunur – konsentrasiya artdıqca potensial da artır.

Minimum potensialın əldə edildiyi optimal konsentrasiyanın miqdarı, təxminən, 0,006% (60 ppm) olaraq təyin edilmişdir. Antistatik əlavənin bu dəyərində potensialın dəfələrlə (10 dəfəyə qədər) azalması müşahidə edilir. 60 ppm-dən etibarən, təqribən 400 ppm-ə qədər, antistatik qatqının konsentrasiyasının artırılması ilə suyun statik potensialında artım müşahidə olunur. Qatqının 400 ppm-dən yüksək qiymətlərində isə statik potensial praktiki olaraq

dəyişməz qalır¹⁰ (Şəkil 2).



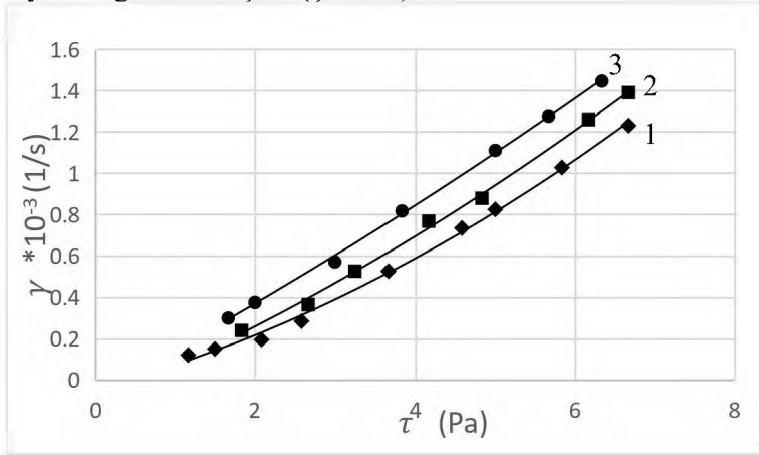
Şəkil 2. Antistatik reagentin təsiri ilə suyun statik potensialının dəyişməsi.

Mikroçat modelində maye sisteminin axın potensialının dəyişməsinin axının reofizik xüsusiyyətlərinə təsirini daha dərin öyrənmək üçün reagentin iki fərqli konsentrasiyasında – potensialın minimum olduğu 60ppm və potensialın reagentin konsentrasiyasından asılı olmadığı 450ppm qatqılı su ilə təcrübələr aparılmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, h -ın fərqli qiymətlərində antistatik qatqının təsiri ilə axın parametrlərinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdığı müşahidə olunur. Effektin yarığın kiçik açıqlıqlarında daha yüksək olduğu və h_{kr} -ə yaxınlaşdıqca isə azaldığı müəyyən edilmişdir.

¹⁰ Veliyev F.H., Aslanova A.R., Electrokinetic regulation of non-Newtonian character of water flow in microcrack model// -Almatı: Нефтехимия, - 2023, V. 5. № 137, - p. 136-143.

Müqayisə üçün, modelin yarığının $10\ \mu m$ açıqlığında qatqısız su, 60 ppm və 450 ppm qatqılı su üçün, $30^\circ C$ temperaturda, xarakterik $\gamma=\gamma(\tau)$ ayriləri göstərilmişdir (Şəkil 3).



Şəkil 3. Suyun modelin yarığının $10\ \mu m$ açıqlığında $\gamma=\gamma(\tau)$ ayriləri: 1- qatqısız su, 2 - 0.045% qatqılı su, 3 - 0.006% qatqılı su.

Göründüyü kimi, elektropotensialın azalması ilə mikroçat axınında suyun qeyri-Nyuton xüsusiyyəti ciddi şəkildə zəifləyir və bu effekt qatqının optimal qiymətində, və uyğun olaraq, potensialın minimum qiymətində daha bariz şəkildə təzahür edir¹¹.

Qatqının optimal konsentrasiyasının təsiri ilə hidravlik sistemin elektrokinetik potensialının azaldılması nəticəsində, limit sürüşmə gərginliyi τ_0 -da da ciddi azalma müşahidə olunur. Suyun qatqısız halında τ_0 -ın yaranması açıqlığın $h < 25\ \mu m$ qiymətlərində müşahidə olunduğu halda, potensialın azalması ilə kritik açıqlıq h_{kr} $20\ \mu m$ -ə qədər azalmış olur.

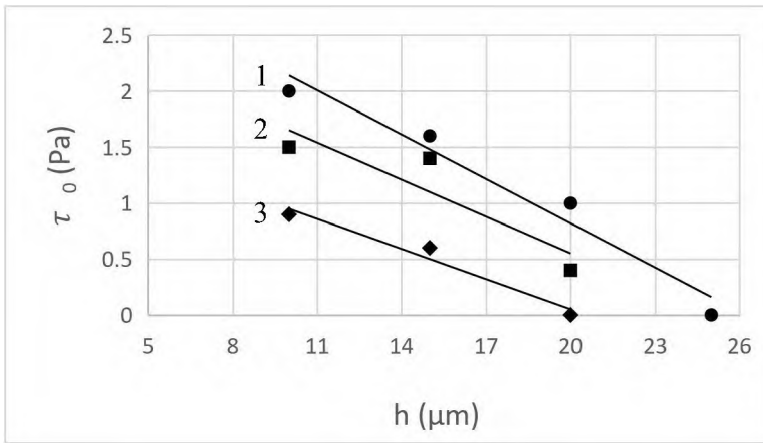
Şəkil 4-də qatqısız və qatqılı su üçün τ_0 -ın h -dan asılılığı

¹¹ Veliyev F.H., Aslanova A.R., Non-Newtonian characteristics of water flow in microchannels//Indian: Indian Journal of Science and Technology, - 2023, V. 16. № 47, - p. 4605-4611.

verilmişdir. Göründüyü kimi, h kiçildikcə τ_0 artır və baxılan diapozonda h -in minimum qiymətində ($10\mu m$) τ_0 maksimum olur.

Həmçinin görünür ki, potensialın kiçilməsi τ_0 -in ciddi şəkildə azalmasına səbəb olur. Nəticə etibarilə, Yarığın $h=20\mu m$ açıqlığında isə antistatik reagentin optimal konsentrasiyasında qeyri-Nyutonluq xarakteri demək olar ki, yox olur və su axınının Nyuton maye xüsusiyyətləri bərpa olur.

Müqayisədən göründüyü kimi, daha yüksək konsentrasiyada (450 ppm) effekt daha zəif təzahür edir.



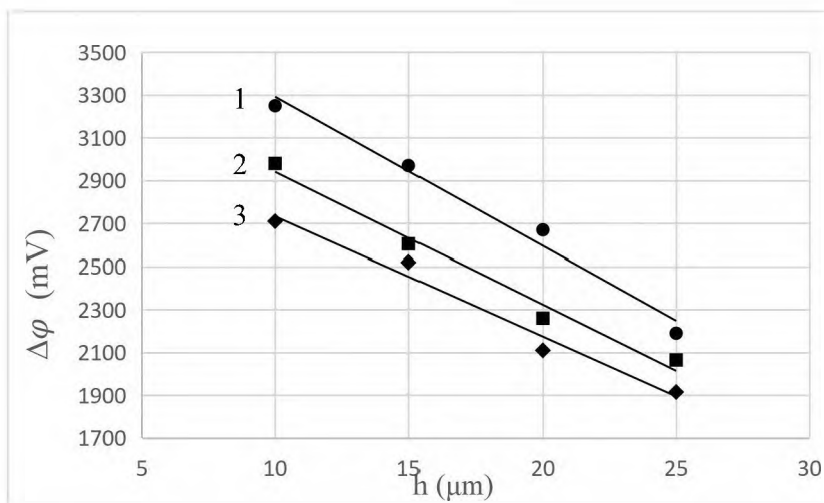
Şəkil 4. Suyun mikroçat modeldən axını zamanı τ_0 -in yarığın açıqlığından asılı olaraq dəyişməsi:

1- qatqısız su, 2 - 0.045% qatqılı su, 3 - 0.006% qatqılı su.

Suyun qatqılı və qatqısız halları üçün mikroçatlarda axma ayrılıqlarının müqayisəsi göstərir ki, potensialın azalması sistemin özlülüyünə praktiki olaraq təsir göstərməsə də, sistemdə başlanğıc sürüşmə gərginliyinin ciddi şəkildə azalmasına səbəb olur. Aşkar edilmiş bu fenomen elektro-reostress effekti adlandırılmışdır.

Paralel olaraq, sistemin axın potensialı – modelin girişində və çıxışında potensiallar fərqi də ölçülmüşdür. Müəyyən edilmişdir ki, antistatik qatqının təsiri ilə sistemin potensiallar fərqi əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Beləki, yarığın $h=10\mu m$ açıqlığında optimal

konsentrasiyalı su halında potensiallar fərqi 3300 mV-dan 2700-mVa qədər azalmışdır. 450 ppm qatqının təsirindən isə potensiallar fərqi daha az azalaraq 2950 mV-a qədər enmişdir¹².



Şəkil 5. Suyun mikroçat modeldən axını zamanı modelin giriş və çıxışında potensiallar fərqinin yarığın açıqlığından asılı olaraq dəyişməsi:

1 - qatqısız su, 2 - 0.045% qatqılı su, 3 - 0.006% qatqılı su.

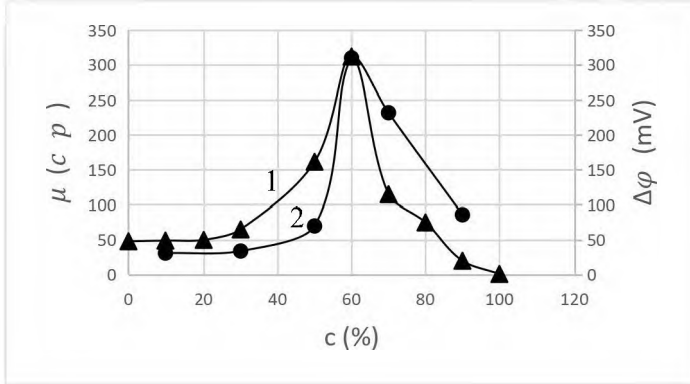
Şəkil 4 və 5-də verilmiş $\tau_0 = \tau_0(h)$ və $\Delta\varphi = \Delta\varphi(h)$ asılılıqlarının xaraktercə oxşarlığı baxılan effektin elektrokinetik mənşəli olduğunu bir daha təsdiq edir.

Yuxarıda qeyd olunmuş təcrübələr 30% və 70%-li su-neft emulsiyaları ilə də aparılmış və keyfiyyətcə analogi nəticələr əldə edilmişdir.

Su-neft emulsiyalarında suyun nisbi miqdarından asılı olaraq, sistemin özlülüyünün ekstremal dəyişməsi ilə müşayiət olunan məlum inversiya hadisəsinin elektrokinetik faktora bağlılığı ayrıca tədqiq edilmişdir. Şəkil 6-da emulsiyanın özlülüyünün (μ) və

¹² Велиев Ф.Г., Мамедова М.А. Асланова А. Р., Реофизические особенности течения воды в микротрещинах// - Минск: Инженерно-физический журнал, - 2024, V. 3. № 97, - p. 679-683.

potensialının ($\Delta\phi$) suyun nisbi miqdarından asılılıq əyriləri verilmişdir. Göründüyü kimi bu iki parametrin dəyişmə əyriləri arasında aşkar korrelyasiya mövcuddur və bu da emulsiyalardakı inversiya fenomeninin elektrokinetik xarakter daşdığını təsdiq edir.



Şəkil 6. Su-neft emulsiyalarının 1-özlülüyünün μ və 2-statik potensiallarının $\Delta\phi$ tərkibindəki suyun miqdarından asılılıq qrafiki

Mikroçatlarda hidravlik sistemlərin elektrokinetik potensialının fiziki üsullarla azaldılmasının mayelərin reofizik xüsusiyyətlərinə təsirini öyrənmək məqsədilə geniş tədqiqat işləri aparılmışdır. Fiziki üsul olaraq elektromaqnit sahələrin təsirindən istifadə olunmuşdur. Təcrübələr su və su-neft emulsiyaları ilə aparılmışdır.

Baxılan maye axınları xüsusi maqnit qurğusundan keçirilərək mikroçat modelə daxil edilmişdir. Maqnit qurğusu, əsas etibarilə, uzunluğu 20sm və daxili diametri 5sm olan polad boru içərisində koaksial şəkildə yerləşdirilmiş, diametri 4.2sm, aralarında məsafə 3,3sm olan, 4 ədəd sabit maqnitdən ibarətdir. Maqnitlər və borunun daxili səthi arasındakı yarıqda maksimum maqnit induksiya isə 0,15T-ya bərabərdir.

Alınmış nəticələr onu göstərir ki, sistemin elektrostatik potensialının istər qatqılar vasitəsilə, istərsə də maqnit sahəsinin təsiri ilə azaldılması nəticəsində mikroçat axınlarında keyfiyyətə eyni reoloji dəyişikliklər müşahidə olunur – τ_0 -ın azalması və uyğun

olaraq, axınların qeyri-Nyuton xassələrinin zəifləməsi, mikroçatın kritik h_{kr} açıqlığının azalması, mikrokanalın nəqlətmə imkanının artması.

Nəticələr bir daha təsdiq edir ki, hidravlik sistemlərin reofizik xüsusiyyətlərinin tənzimlənməsində sistemin elektrokinetik potensialının dominant rolu vardır.

Dördüncü fəsildə isə hidravlik sistemlərin elektrokinetik potensialının azaldılmasının mikroçat modelində ötürülmə proseslərinin intensivliyinə təsirinin öyrənilməsi istiqamətində aparılmış təcrübi işlərin nəticələri əks olunmuşdur. Fəsilin birinci hissəsində su-mikroçat və neft-mikroçat sistemlərində elektrokinetik potensialın azaldılmasının təzyiqin bərpa prosesinə təsiri dəyərləndirilmiş, ikinci hissəsində isə sıxışdırılan mayenin elektrokinetik potensialının azaldılmasının mikroçat modelində neftin sıxışdırılma prosesinin intensivliyinə təsiri tədqiq edilmişdir.

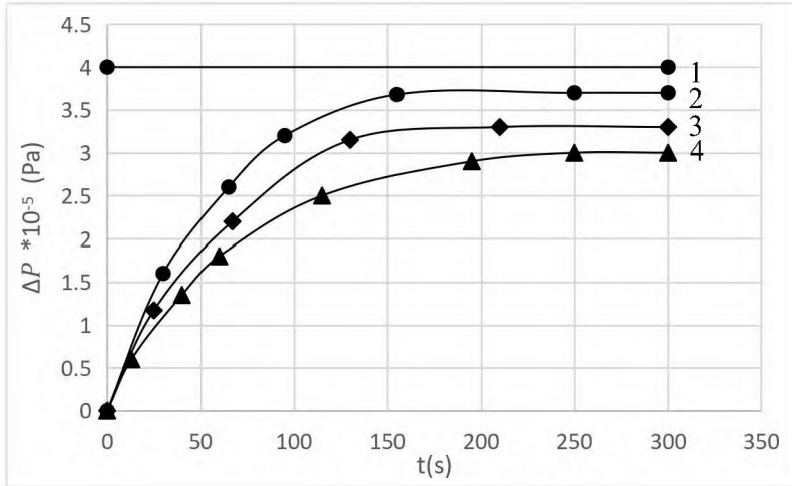
İlk olaraq, su ilə təcrübələrdə, müxtəlif açıqlıqlarda, mikroçatda təzyiqin bərpa əyriləri (TBƏ) çıxarılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, suyun mikroçat modeldən axını zamanı h_{kr} -dən başlayaraq yarığın açıqlığı azaldıqca təzyiqin bərpa zamanı artır. Yarığın $25\mu m$ açıqlığında təzyiqin bərpa zamanı 50 s olduğu halda, $10\mu m$ açıqlıqda 250 s-yə qədər yüksəlmişdir.

Eyni zamanda, açıqlığın $h \geq h_{kr}$ qiymətlərində mikroçat modelin giriş və çıxış nöqtələrində təzyiqin tam bərpası qeydə alınsa da, h_{kr} -dən başlayaraq, h azaldıqca giriş və çıxış nöqtələrində qərarlaşmış təzyiqlər fərqi təzahür edir və baxılmış aralıqda ən kiçik açıqlıqda ($h=10\mu m$) maksimum həddə çatır.

Bu nəticələr, $Q=Q(\Delta P)$ əyriləri əsasında, müəyyən ölçülü mikroçatlarda suyun qeyri-Nyuton mayeyə çevrilməsi, bu prosesdə elektrokinetik faktorun rolu barədə təsbit edilmiş yekun konseptual nəticələrlə tam şəkildə uyğunluq təşkil edir.

Təcrübələrin mühüm nəticəsi ondan ibarətdir ki, suya antistatik qatqının təsiri ilə sistemin potensialının azaldılması mikroçat modeldə təzyiqin bərpa prosesinin intensivliyini əhəmiyyətli dərəcədə gücləndirir. Beləki, yarığın $h=10\mu m$ açıqlığında qatqısız su üçün təzyiqinin bərpa zamanı 250s, qatqının optimal miqdarının təsiri ilə -

150s, 0.045%-li qatqının təsirilə isə 170s olmuşdur. Baxılmış aralıqda, h -ın digər qiymətlərində də təzyiqin bərpa prosesində bənzər intensivləşmə qeydə alınmışdır (Şəkil 7).



Şəkil 7. Suyun mikroçat modelin yarığının $10 \mu m$ açıqlığında axını zamanı təzyiqin bərpası ayrılırları:

1 –modelin giriş təzyiqi, 2 – 0.006% qatqılı su, 3 – 0.045% qatqılı su, 4 – qatqısız su

Antistatik qatqının təsirilə, h_{kr} –dən aşağı qiymətlərdə modelin giriş və çıxış nöqtələrində təzahür edən qərarlaşmış təzyiqlər fərqi də azalma qeydə alınmışdır. Baxılmış aralıqda açıqlığın ən kiçik qiymətində ($h=10\mu m$), qatqısız su üçün təzyiqin bərpası zamanı yaranan qərarlaşmış təzyiqlər fərqi 1 atm olduğu halda, qatqının optimal miqdarının təsirilə bu qiymət 0.3 atm, 0.045%-li qatqının təsirilə isə 0.7 atm olmuşdur (Şəkil 7).

Yarığın $h=20 \mu m$ açıqlığında isə qatqısız su üçün təzyiqin bərpası zamanı 0.2 atm təzyiqlər fərqi alındığı halda, qatqının optimal miqdarının təsirilə model boyunca təzyiqin tam bərpası təmin edilmişdir ki, bu da suyun artıq Nyuton maye xüsusiyyətini bərpa etməsinin göstəricisidir.

Qeydə alınmış nəticələr, eyni zamanda, antistatik qatqının

təsirilə axın potensialının dəyişmə tendensiyası ilə də uyğunluq təşkil edir. Baxılmış aralıqda, antistatik qatqının optimal konsentrasiyasının təsirilə, axın potensialında 1.3 dəfəyə qədər azalma qeydə alınmışdır ki, bu da müvafiq açıqlıqlarda təzyiqin bərpa zamanında 2 dəfəyə qədər azalma ilə nəticələnir.

h-in baxılmış bütün qiymətlərində qatqının iki fərqli konsentrasiyasının təsirilə, axın potensialının azalmasına müvafiq olaraq, təzyiqin bərpa prosesində də intensivləşmə qeydə alınmışdır.

Axın potensialının azaldılması üçün kimyəvi təsirlərlə yanaşı, sabit və dəyişən maqnit sahələrindən də istifadə edilmiş və yuxarıda qeyd olunanlara keyfiyyətə analoji nəticələr əldə edilmişdir.

Yuxarıda qeyd olunmuş təcrübələr 30% və 70%-li su-neft emulsiyaları ilə də aparılmış və keyfiyyətə analoji nəticələr əldə edilmişdir.

Nəticə etibarilə, maye axınının elektrokinetik potensialının azaldılmasının qeyri-stasionar proseslərin intensivliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərdiyi aşkar edilmişdir. Beləki, hidravlik sistemin elektrokinetik potensialının azaldılması ilə sistemdə reofizik ötürülmə prosesi güclənir və nəticə etibarilə, hidravlik sistemdə təzyiqin qərarlaşma vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

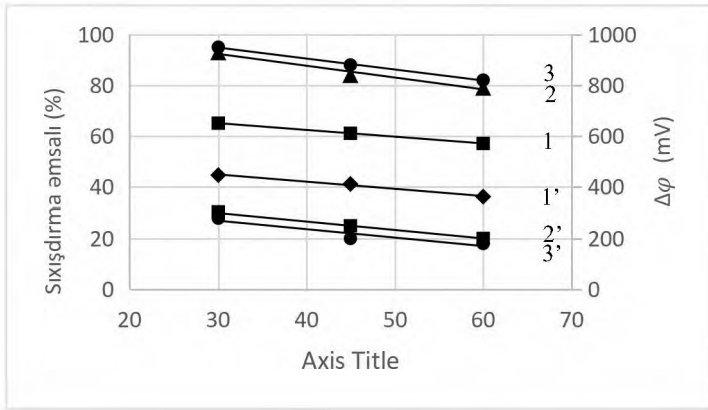
Maye sistemlərinin reofizik xüsusiyyətlərinin elektrokinetik tənzimlənməsinin mikroçat modelində neftin su ilə sıxışdırılması prosesinə təsirinin eksperimental tədqiqi məqsədilə geniş laboratoriya işləri aparılmışdır. Antistatik qatqının və elektromaqnit sahəsinin təsirilə sıxışdırılan mayenin elektrokinetik potensialının azaldılması yolu ilə sıxışdırma əmsalında əhəmiyyətli dərəcədə artım (30%-ə qədər) qeydə alınmışdır.

Müqayisə üçün, Şəkil 8-də $\Delta P = 2 \cdot 10^5$ Pa təzyiq fərqi altında Nyuton neftin qatqısız və maqnitsız su, antistatik qatqılı su və maqnit sahəsindən keçirilmiş su ilə sıxışdırılma əmsallarının h-dan asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. h-in baxılmış bütün qiymətlərində, antistatik reagentin və maqnit sahəsinin təsirilə suyun elektrostatik potensialının azaldılması nəticəsində sıxışdırılma prosesinin əhəmiyyətli dərəcədə intensivləşdiyini aydın görmək mümkündür.

Sıxışdırma prosesinə paralel olaraq, sistemin giriş və çıxış nöqtələri arasında potensiallar fərqi – axın potensialı da ölçülmüşdür.

Şəkil 8-də, $\Delta P = 2 \cdot 10^5$ Pa təzyiq düşküsi altında Nyuton neftin su, antistatik qatqılı su və maqnit sahəsindən keçirilmiş su ilə sıxışdırılma proseslərində axın potensialının h-dan asılılığı da göstərilmişdir.

Göründüyü kimi, h-ın bütün qiymətlərində potensialın azaldılması ilə suyun sıxışdırılma xüsusiyyəti güclənir və bu da, nəticə etibarilə, sıxışdırılma əmsalının ciddi şəkildə artması ilə müşayiət olunur¹³.



Şəkil 8. $\Delta P = 2 \cdot 10^5$ Pa təzyiqlər fərqi altında mikroçat modeldə Nyuton neftin su ilə sıxışdırılma əmsalının h-dan asılılığı: 1 – qatqısız su ilə sıxışdırılma, 2 – maqnit sahəsindən keçirilmiş su ilə sıxışdırılma, 3 – antistatik qatqılı su ilə sıxışdırılma və sıxışdırılma prosesində axın potensialının yarığın açılıqlığından asılılığı:

1' – qatqısız su ilə sıxışdırılma, 2' – maqnit sahəsindən keçirilmiş su ilə sıxışdırılma, 3' – antistatik qatqılı su ilə sıxışdırılma.

Nəticə etibarilə, müəyyən edilmişdir ki, maye sisteminin

¹³ Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Electrokinetic regulation of the process of oil displacement by water in microcracks //-Baki: Azerbaijan Oil Industry, - 2023, 12, - p. 18-21.

elektrokinetik potensialının azaldılması, mikroçat modelində neftin su ilə sıxışdırılma prosesinin intensivliyinə və effektivliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Müxtəlif təzyiq düşkünləri altında, neftin qatqısız, qatqılı və maqnitli su ilə sıxışdırılma təcrübələrinin nəticələri göstərir ki, sıxışdırma əmsalında 30%-ə qədər artım əldə edilir.

Nəticələr

1. Elektrokinetik amillərin mikroçatlarda lay mayelərinin axınının reofiziki xüsusiyyətlərinə təsiri, model tədqiqatlar əsasında, kompleks şəkildə öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, mikroçatlarda özlü mayelərin süzülmə prosesində, Darsi qanununun pozulması ilə müşayiət olunan, qeyri-Nyuton xüsusiyyətlərin təzahür etməsində sistemin elektrokinetik potensialının xüsusi rolu vardır. Beləki, sistemin elektrokinetik potensialının, fiziki və kimyəvi təsirlərdən istifadə edərək, azaldılması axının qeyri-Nyuton xarakterini əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədir və nəticə etibarilə, mikroçatların süzülmə xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır.
2. Müəyyən edilmişdir ki, antistatik qatqıların kiçik dozaları maye sisteminin elektrostatik potensialını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Mayelərin (su, neft, emulsiya) elektrod potensialının ($\Delta\phi$) sistemdəki antistatik qatqıların konsentrasiyasından asılılıq ayrıləri qeyri-xətti xarakter daşıyır və antistatik qatqının ultra kiçik konsentrasiyasında elektrostatik potensial $\Delta\phi$ minimum qiymətinə qədər azalır.
3. Mikroçat modelin yarığının müxtəlif açıqlıqlarında, su və su-neft emulsiyalarının, qatqısız və qatqılı hallarında $Q=Q(\Delta P)$ və $\gamma = \gamma(\tau)$ ayrıləri əsasında, Binqam modelinə uyğun olaraq, axının reoloji parametrləri dəyərləndirilmişdir. Antistatik reagentin optimal konsentrasiyası maye axınının elektrokinetik potensialını azaldaraq, sistemin başlanğıc təzyiq qradienti ΔP_0 və limit sürüşmə gərginliyini τ_0 ciddi şəkildə azaldır və nəticə etibarilə, mikroçatların süzülmə xüsusiyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Alınmış təsir elektro-reostress effekti adlandırılmışdır. Mikroçat modelin yarığının daha kiçik açıqlıqlarında, effekt daha güclü təzahür edir.
4. Müəyyən edilmişdir ki, antistatik reagentin təsirlə maye sisteminin elektrokinetik potensialının azaldılması ilə özlü mayelərin özlü-plastik mayelər təkli təzahür etməyə başladığı çat açıqlığının kritik qiyməti (h_{kr}) azalır, yəni Nyuton

mayenin qeyri-Nyuton maye halına keçidi daha kiçik ölçülü yarıqlarda təzahür edir.

5. Su-neft emulsiyaları ilə aparılmış təcrübələrdə keyfiyyətə eyni nəticələr alınmışdır. Əlavə olaraq müəyyən edilmişdir ki, emulsiyanın özlülüyünün, tərkibindəki suyun nisbi miqdarından asılı olaraq bir neçə dəfə artması və maksimuma çatdıqdan sonra azalması ilə səciyyələnən inversiya prosesi, mahiyyətə, elektrokinetik xarakter daşıyır və bu tezis suyun miqdarından asılı olaraq, emulsiyanın özlülüyünün və elektrik potensialının dəyişmə əyriləri arasında aşkar korrelyasiyanın mövcudluğu ilə təstiqlənir.
6. Antistatik qatqıların təsiri ilə maye axınının elektrokinetik potensialının azaldılması qeyri-stasionar proseslərin intensivliyinə də əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Beləki, antistatik qatqının olmadığı və olduğu hallarda, müxtəlif ölçülü mikroçatlarda təzyiqin bərpə əyrilərinin müqayisəli analizindən aydın olur ki, elektrik potensialının azalması ilə sistemdə reofizik ötürülmə prosesi güclənir və nəticə etibarilə, hidravlik sistemdə təzyiqin relaksasiya vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.
7. Müəyyən edilmişdir ki, mikroçatlardan neftin sıxışdırılması prosesində suyun tərkibində az miqdarda antistatik aşqarın olması, və uyğun olaraq, sistemdə elektrokinetik potensialın azalması suyun sıxışdırıcı qabiliyyətini xeyli dərəcədə artırmış olur. Alınmış nəticələr hesab etməyə əsas verir ki, tərkibində optimal konsentrasiyaya uyğun olaraq, ultra-kiçik dozada antistatik reagent olan su mikroçatlı və ya mikroçatlı-məsaməli kollektorlardan neftin sıxışdırılması prosesində, yüksək effektivliyi sıxışdırıcı agent olaraq istifadə oluna bilər.
8. Tədqiq edilən mayələrin, mikroçat modelinə daxil olmamışdan öncə, elektrostatik potensialının sabit və dəyişən maqnit sahələrinin təsiri ilə azaldılması əsasında da təcrübələr aparılmış və yuxarıda qeyd olunanlarla keyfiyyətə eyni nəticələr əldə edilmişdir.

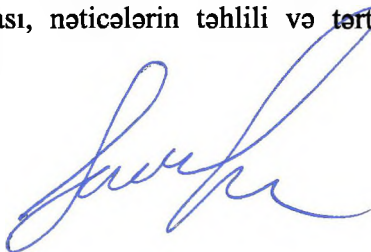
DİSSERTASIYA MATERIALLARI ÜZRƏ AŞAĞIDAKI ELMİ ƏSƏRLƏR ÇAP EDİLMİŞDİR:

1. Aslanova, A.R., Challenges in heavy oil operations due to non-Newtonian behavior // Stockholm: The XXI International Scientific Symposium "Science and Culture in the Modern World", - Baku: - 2021, - p. 285-286.
2. Aslanova, A.R., The role of electrokinetic effects in microcrack flow // The XXXII International scientific symposium "Turk's victory: from Chanakkale to Karabakh", - Kars-Eskişehir: -2022, - p. 352-354.
3. Aslanova, A.R., Mikroçatlarda axının elektrokinetik tənzimlənməsi// Doktorantların və Gənc Tədqiqatçıların XXV Respublika Elmi Konfransı, - Bakı: - 2022, - p. 117-120.
4. Aslanova, A.R., Rheophysical problems of non-Newtonian fluids in oil production processes // Bilimsel araşdırmalar, Tezis və məqalələr toplusu, - Ankara: - 2022, - p. 272-273.
5. Aslanova, A.R., Electrokinetic regulation of fluid flow in microcracks // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXVI respublika elmi konfransı - Bakı: - 2023, - p. 103-107.
6. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Electrokinetic effects in microcrack flow // International Asian Congress on Contemporary Sciences – IX, Proceeding Book - Bakı: - 2023, - p. 150-154.
7. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., About the non-Newtonian behaviour of fluid flow in micro-slit model // International Scientific Conference, Caspian dimension - Atırâu: - 2023, - p. 26-31.
8. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., A rheophysical study of the non-Newtonian behavior of fluid flow in thin channels // International Conference on Engineering, Science and Technology (IconEST), Abstract Book - Las Vegas: - 2023, - p. 144.
9. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Electrokinetic regulation of flow in microcrack reservoirs // 26th IUPAC International

- Conference on Chemical Thermodynamics, Abstract Book - Osaka: - 2023, - p. 103.
10. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Electrokinetic regulation of non-Newtonian character of water flow in microcrack model // Almaty: Нефтехимия, - 2023, V. 5. № 137, - p. 136-143.
 11. Aslanova, A.R., Jalilov, J.Y., The study of rheophysical analysis of water flow in microcracks // Almaty: Нефтехимия, - 2023, V. 6. № 138, - p. 227-233.
 12. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Electrokinetic regulation of the process of oil displacement by water in microcracks // Azerbaijan Oil Industry, - Baku: - 2023, 12, - p. 18-21.
 13. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Non-Newtonian characteristics of water flow in microchannels // Indian Journal of Science and Technology, - Indian: - 2023, V. 16. № 47, - p. 4605-4611.
 14. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., The investigation of rheophysical properties of fluid flow in microchannels // International innovative studies & contemporary scientific research congress Tokyo Summit – VIII, Proceeding Book - Tokyo: - 2024, - p. 184.
 15. Велиев, Ф.Г., Мамедова, М.А. Асланова, А. Р., Реофизические особенности течения воды в микротрещинах// - Минск: Инженерно-физический журнал, - 2024, V. 3. № 97, - p. 679-683.
 16. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., A rheophysical study of the non-Newtonian behavior of water flow in thin channels // Eureka: Physics and Engineering, - Estonia: - 2024, N1, - p. 11-17.
 17. Veliyev, F.H., Aslanova, A.R., Rheophysical characteristics of hydrocarbon flow in microcracks // International Journal on Engineering, Science and Technology, - Las-Vegas: - 2024, V. 2. № 6, - p. 163-170.
 18. Veliyev, F.H., Mamedova, M.A., Aslanova, A.R., Rheological features of water flow in microcracks // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, - USA: - 2024, V. 3. № 97, - p. 663-667.

Namizədin şəxsi töhvəsi

[1, 2, 3, 4, 5] işləri sərbəst yerinə yetirilmişdir, [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18] işlərində məsələnin qoyuluşu, nəzəri və təcrübi tədqiqatların icrası, nəticələrin təhlili və tərtibat işlərində yaxından iştirak etmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 03 iyun tarixində saat 11:00 Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 – Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1010, Bakı şəhəri, D. Əliyeva küç., 227.

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

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 30.04.0 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.04.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38629

Tiraj: 100