



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında
Elmin İnkişafı Fondunun 2015-ci ilin əsas qrant müsabiqəsi
çərçivəsində təqdim olunmuş kompleks elmi-tədqiqat
proqramlarının (EIF-KETPL-2015-1(25)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **İslanma qabiliyyətinin dəyişməsinin nəzəri və eksperimental tədqiqi və onun karbohidrogen hasilatına mümkün təsiri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu**

Qrantın məbləği: **250 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/08/1-M-21**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **03 mart 2017-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2017-ci il – 01 aprel 2019-cu il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

Layihənin yerinə yetirilməsi prosesində analitik yanaşma və həmçinin müxtəlif modellərin nəticələrinin eksperimental məlumatlarla müqayisəsi aparılmışdır. İşin yerinə yetirilməsinin müxtəlif mərhələlərində qoyulan məsələlərin həllində aşağıdakı üsul və yanaşmalar istifadə edilmişdir:

1. Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC – SAFT) termodinamika modelləşdirməsi və MATLAB, PYTHON Proqramlaşdırmasının tətbiq edilmişdir:

- Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC – SAFT) termodinamik modelinin qurulması neftlərdən ağır komponentlərin tökülməsini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilmişdir;

- Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) modelinin köməyi ilə quyuda nefli laylardan parafinlərin çökməsinin modelləşdirilməsinin

metodologiyası hazırlanmışdır;

- Qeyd edilən metodologiya quyularda real şəraiti nəzərə almaqla bir quyuda tətbiq edilmiş neftin ağır fraksiyası kimi asfalten və parafinlərin fiziki-kimyəvi xassələri və onların xarakteri və həmçinin, asfaltenlərin çökməsinə parafinlərin iştirakının təsiri təhlil edilmişdir.

- Quyuboyu neft laylarında çökmüş parafinlərin miqdarının hesablanmışdır;

- Polimerlərin termodinamik xassələrini təhlil etmək üçün riyazi modellərin nəzəri bazaları öyrənilmişdir;

- Asfaltenlərin tökülməsi və çökməsinin termodinamik xassələrinin təsiri nöqtəy-nəzərindən layların islanma qabiliyyətinin dəyişməsi öyrənilmişdir;

- Temperatur, təzyiq və gaz-neft əmsalı (GOR) parametrləri üçün çökmüş parafinlərin miqdarına görə həyəcanlanma analizi aparılmışdır;

- Süxur nümunələrində elektrik müqavimət əmsalı, sementlənmə əmsalı və mütləq keçiricilik hesablanmışdır. Sementlənmə əmsalı süxurların geometrik xassələrini xarakterizə edən parametrdir. Bu parametrin eksperimental olaraq birbaşa alınması çox mürəkkəbdir. Qurulmuş model asanlıqla əldə edilən Civəvurma ilə Kapilyar Təzyiq məlumatları vasitəsilə bu parametri müəyyən etməyə kömək edir.

2. İslanma Qabiliyyətinin Flüid Fizikasının və Kimyəvi xüsusiyyətlərinin təhlil edilmişdir.

3. Lattice Boltzmann Metodu əsasında Flüid Axınının Dinamikasının öyrənilməsi; Modelin Kalibrasiyası və Statistika, Məlumatların Analizi:

- Neft və suyun mütləq və nisbu keçiriciliyini və kömürün islanma qabiliyyətinin dəyişməsinə kollektorun termodinamik şəraitinin təsirini öyrənmək üçün Lattice Boltzmann Metodu (LBM) tətbiq edilmişdir. Bu metod Boltzmanın aerohidrodinamik tənliyi əsasında yaradılmışdır. Modelin daxil olan parametrlərinə məsaməli mühitin strukturası, süxurların kimyəvi tərkibi, islanma şəraiti və s. aiddir. LBM neft və suyun nisbi keçiricilik əyriləri üzrə eksperimental məlumatlarla çox yaxşı uzlaşan nəticələr vermiş və qalıq neft və su doymululuğu üzrə eksperimental məlumatları ilə modelin ədədi nəticələrinin üst-üstə düşməsi müşahidə edilir. Modelin optimallaşdırılması ilə əlaqədar C++ -da kod yazılması həyata keçirilmişdir. Həmçinin, Flüid axınının dinamikası, ədədi üsullardan və kompüter baxışı açıq mənbə maşın öyrənmə proqram təminatı kitabxanası (OpenCV library) da istifadə edilmişdir;

- Lattice Boltzmann Metodunun modeli qurulmuş və bu model böyük həcmdə maliyyə və zaman resursları tələb edən eksperimentlərin əvəzləyərək nisbi keçiricilik əyrisini modelləşdirməyə imkan vermişdir;

- Lattice Boltzmann Metodu (LBM) modelinin köməyi ilə dayanıqlı və dayanıqsız vəziyyət şəraitində məsaməli mühitdə neftin və qazın iki-fazlı axınının modelləşdirilməsi üzrə işlər tamamilə başa çatdırılmışdır;

- LBM modelinin təsdiq edilməsi üçün üç ölçülü islanma qabiliyyətinin sınağı (kontakt bucaqlarının analitik və simulyasiya müqayisəsi), simulyasiya nəticələrinə əsasən kapilyar təzyiq və əks qaz köpüklərinin radiusu arasında əlaqənin olması kimi bir sıra sınaqlar aparılmışdır;

1. Nəzərdə tutulmuş laboratoriya eksperimentlərini texniki hazırlıq, eksperiment avadanlıqlarının və məlumatlarının müfəssəl tədqiq edilmişdir.

Eksperimentlərin həyata keçirilməsi üçün istifadə olunan məlumatlara konkret tələblər qoyulmuşdur. Qarşıya qoyulmuş məsələnin xüsusiyyətini nəzərə alaraq, tərkibində 2-5 %

asfaltinin olduğu bir neçə neft nümunəsinin seçilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Bu işin məqsədi qeyd edilən neft nümunələrinin kimyəvi analizi (SARA- xam neftin Doyma, Aromatik, Qətran, Asfaltin tərkibi eksperimentlərinə analoq kimi) zamanı asfaltinlərin çökməsini müşahidə etməkdir.

Həmçinin, kerna nümunələrinin seçilməsi zamanı əsas kriteriya məsaməliyi 19 -21% olan süxur kimi qumdaşının seçilməsi məqsəduyğundur.

Yuxarıda qeyd edilən işlərin öyrənilməsində və realizasiyasında aşağıdakı alət və vasitələr istifadə edilmişdir:

Proqramlaşdırma dili: Python, Matlab

Simulyasiya avadanlığı: Workstation.

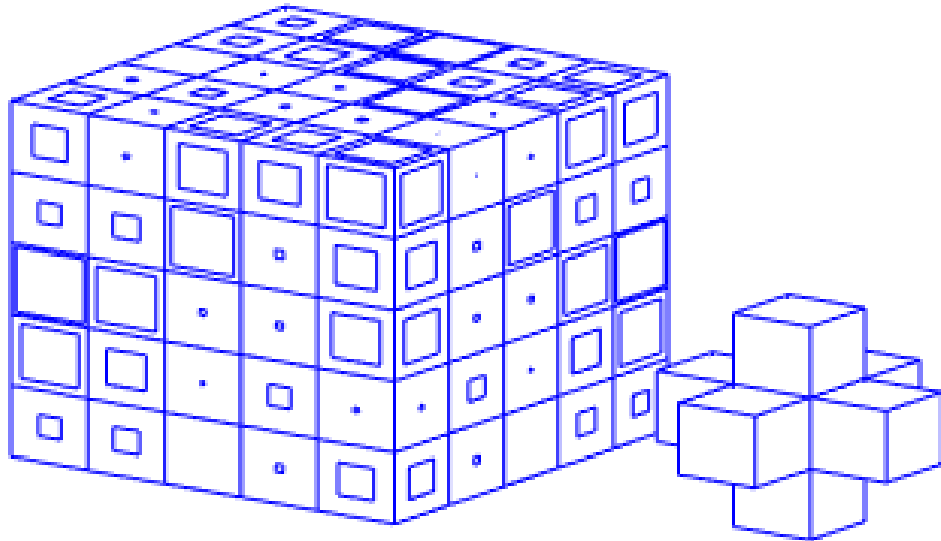
2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)

100%

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

1. Məsaməli mühitin strukturundan (geometriyasından) və ayrılıq parametrindən asılı olaraq xüsusi elektrik müqavimətinin dəyişmə xarakterini, mütləq keçiricilik və sementlənmə əmsalını kəmiyyətə hesablayan statistik model qurulmuşdur.

Bu statistik model məsaməli mühitin paralelipiped formasında üç əlaqəli perpendikulyar kəsişən kapilyarların elementlərdən təşkil olunan sistem kimi təsəvvür olunan ehtimala əsaslanır (şəkil 1).



Şəkil 1. Məsaməli mühitin təqdim edilən strukturu

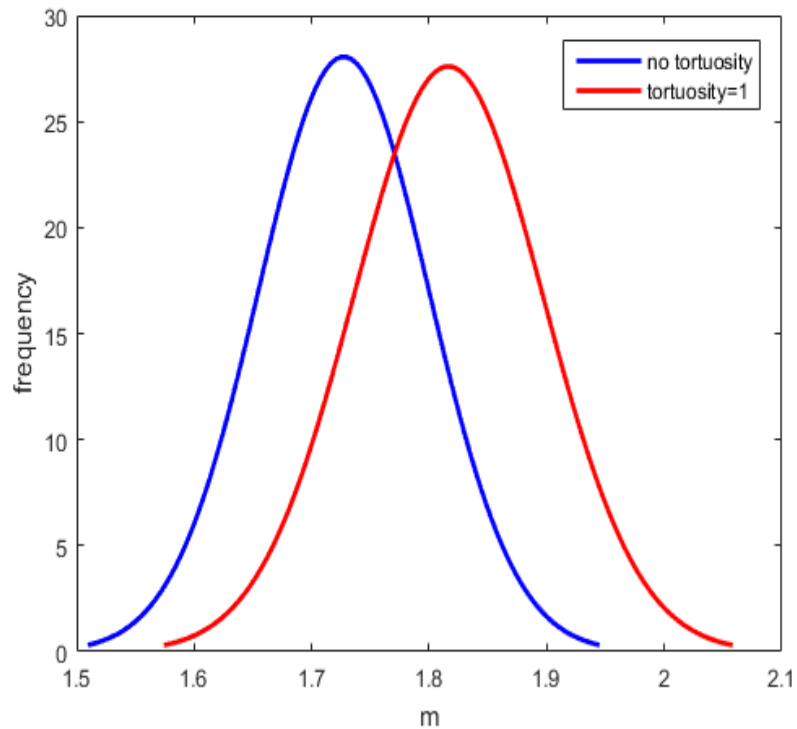
Bu modeldə məsamələrin ölçülərinə görə paylanmasını istifadə edir. Bu məlumatları Nüvə Maqnit Rezonansı və ya Cıvəurma ilə Kapilyar Təzyiqi eksperimentlərinin əsasında əldə etmək olar. Bu işdə məsamələrin ölçülərinə görə paylanması üzrə Cıvəurma Kapilyar

Təzyiqi eksperiment məlumatları istifadə edildiyəndən statistik model bu hal üçün modifikasiya olunmuşdur.

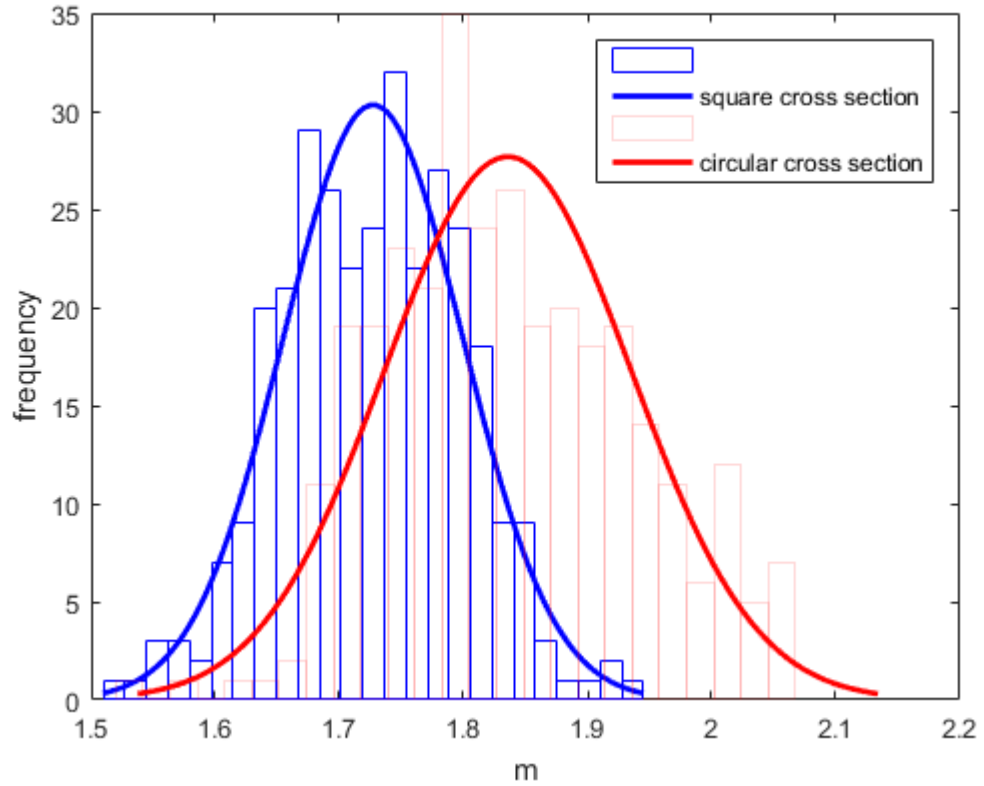
Bu iş şərcivəsində həmçinin, həssaslıq analizi də həyata keçirilmişdir.

Statistik model əsasında modelləşdirmənin nəticələri yüksək dəqiqliklə eksperimental məlumatlarla və hətta özünü model kimi təqdim edən məlumatlarla üst-üstə düşürlər.

Həssaslıq analizinin nəticələrində sementlənmə əmsalında kapilyarların geometriyasına (formasına) və əyrilik effekte cavab verən aşağıdakı nəticələr (şəkil. 2, şəkil. 3) alınmışdır.

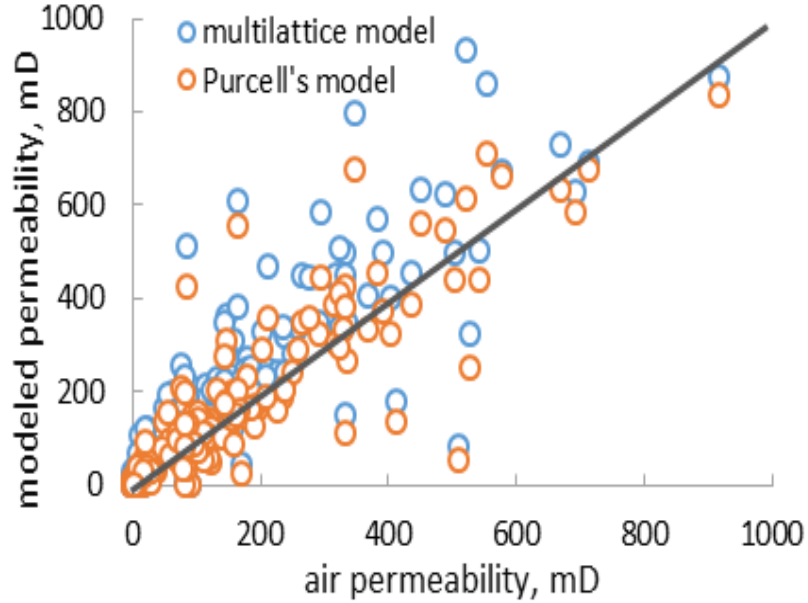


Şəkil 2. Sementlənmə əmsalında əyrilik effekti



Şəkil 3. Sementlənmə əmsalında kapilyar effekti

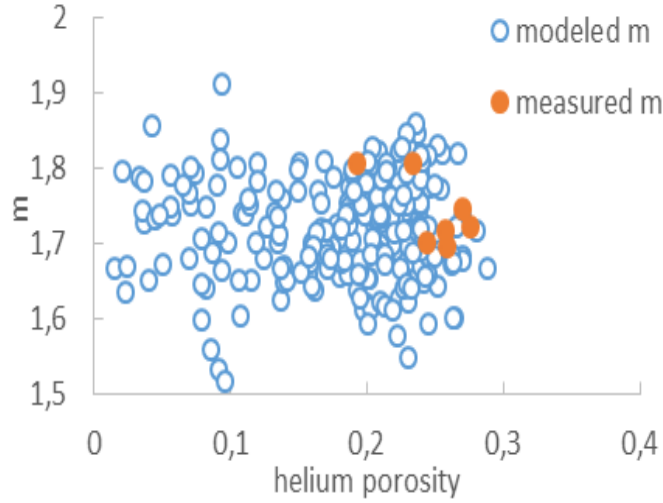
Bu modelin mütləq keçiricilik üzrə alınan nəticələri Pursel modeli ilə müqayisə edilmişdir. Şəkildə görüldüyü kimi (şəkil. 4) nəticələr yüksək dəqiqliklə üst-üstə düşürlər.



Şəkil 4. Statistik modelin və Pursel modelinin nəticələrinin müqayisəsi

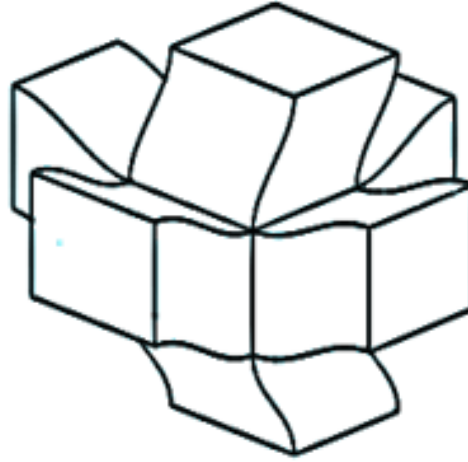
Əsas momentlərdən biri sementlənmə əmsalının qiymətləndirilməsi və onun eksperimental qiymətlərlə müqayisəsi olmuşdur (şəkil. 5). Bu parametrlər üçün eksperimental məlumatlar

çox olmamışdır.



Şəkil 5. Helium məsaməliyindən asılı olaraq sementlənmə əmsalının eksperimental və model qiymətlərinin müqayisəsinin qrafiki

İnkişaf etdirilmiş statistik modeli, məsələn, şəkil 6-da göstərilədiyi kimi kapilyarların formasını daha real formaya dəyişməklə modifikasiya etmək və təkmilləşdirmək olar.



Şəkil.6. Kapilyarların əyriliyinin sxematik illüstrasiyası

2. Neftlərin ağır fraksiyalarının və parafinlərin fiziki-kimyəvi xassələrinin və dəyişmə xarakterinin öyrənilməsi istiqamətində aparılmışdır. Həmçinin, parafinlərin iştirakının asfaltenlərin çökməsinə təsiri də araşdırılmışdır.

Məsələnin qoyuluşunda lay şəraitində xüsusi elektrik müqavimətində özünü göstərən islanma qabiliyyətinin dəyişməsinə təsir edən faktorlardan biri kimi məsaməli mühitdə asfaltenlərin çökməsidir (P, T). Həmçinin, islanmaya və xüsusu elektrik müqavimətinə çökmüş asfaltenlərin miqdarı, çökmüş asfaltenlərin yayılması və asfaltenlərin ölçülərinə görə paylanması kimi parametrlər bilavasitə təsir edir.

İşin bu mərhələsində əvvəlcə süxurların islanma qabiliyyəti fenomeninin başa düşmək üçün məsələ qoyulmuşdu. Elmi nəşrlərin icmalının aparılmasından sonra məlum oldu ki, islanma qabiliyyətinə təsir edən vacib faktorlardan biri məsaməli mühitdə parafin və asfaltenlərin tökülməsi və çökməsidir. Neftin ağır fraksiyalarının çökməsi nəticəsində süxurun səthi özünün kimyəvi xassəsini dəyişərək daha da neftlə islanmış vəziyyətə gətirib çıxarır. Öz növbəsində neft istiqamətində islanma qabiliyyətinin dəyişməsi süxurda yüksək qalıq neftinə və xüsusi elektrik müqavimətinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

Qarşıya qoyulmuş məqsədlər arasında aşağıdakılara baxılmışdır:

- Asfalten Stabillik İndeksi (ASI). Asfalten Stabillik İndeksi (ASI) müəyyən təzyiq və temperatur şəraitində quyuda və yaxud lay şəraitində asfaltenlərin çökməsinin potensialını təyin edən vacib parametrlərdən biridir. Ağır fraksiyaların az stabil olması, neftin tərkibində onların miqdarının az olması kimi müəyyən edilmiş asılılıq bu molekullarda molekullarası qaşılıqlı hərəkətlə əlaqədardır. Neftin konkret şəklində islanma effektinin tədqiqi üçün açar parametr kimi Asfaltenlərin Stabillik İndeksi (ASI) və təsiredici parametrlərin müxtəlif variasiyalarında asfalten molekullarının ümumi xarakteri öyrənilmiş və keyfiyyətə asfaltenlərin stabilliyinə təsir edən asılılıqları müəyyən etmək mümkündür. Bu parametr hansı termodinamik parametrlərdə (təzyiq və temperatur) və həmçinin, hansı kimyəvi tərkibli neftdə (bizim neftimizin tərkibində C36+ alkanları təyin edilmişdir) asfaltenlər qeyri-stabil olurlar, yəni asfaltenlərin tökülməsi prosesi başlayır.
- Asfaltenlərin tökülmə intensivliyində parafinlərin iştirakının təsirinə və əks prosesə baxılmışdır.
- Xam neftin komponentlərinin kimyəvi əlaqələrinin polyarlaşması. Bu faktorun növbəti mərhələdə Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) termodinamik modelində tətbiq edilmiş və bu model ikili əlaqə əmsalları (k_{ij}), seqment sayı (m), seqmentin diametri (σ) və zəncirin enerjisi (ϵ) kimi parametrlərin kalibrasiyasına necə təsir etməsi öyrənilmişdir.
- Polimerlərin termodinamik xassələrinin təhlilini həyata keçirən Flory-Huggins requlyar həll riyazi modelinin nəzəri bazasının öyrənilməsi .
- Asfaltenlərin molekul tərkibi kimi “kollektiv” kimyəvi birləşmələrin hansı yolla seçilməsini başa düşmək məqsədi ilə neftin tərkib məlumatlarının emal edilməsi.

Yerinə yetirilən işlər əsasında, Flory-Huggins requlyar həll nəzəriyyəsini tətbiq edərək asfaltenlərin və parafinlərin hərəkəti təhlil olunmuşdur. Flory-Huggins modeli polimerlərin (bizim halda asfaltenlərin) termodinamik xassələrinin təsvir olunması modelidir. Modelin nəticəsi kimi maddənin tərkibində (məsələn, neftdə) polimerləri xarakterizə edən Qibbsin sərbəst enerjisi çıxış edir. Bu nəzəriyyə neftdə asfaltenlərin həll olması kimi tərs proses barədəki suala cavab verməyə imkan verir. Alınan nəticələr onu göstərir ki, ağır fraksiyaların neftdə həll olması kimi tərs xassələrə malik olması bütün hallarda baş vermir. Əvvəlki işlərin təhlili göstərdi ki, əgər neftin tərkibində yüngül fraksiyalar ağır fraksiyalara nəzərən üstünlük təşkil edirlərsə (faiz nisbətində), onda asfaltenlərin tökülməsi ehtimalı yüksəkdir. Bu faktor bizim istifadə etdiyimiz şəkillərin bünövrəsini xarakterizə edir.

Həmçinin, Amott-Harvey Test İndeksinin (I_o) və USBM testinin əvəzinə islanmanın kəmiyyət parametri kimi kömürün islanması istifadə edilir. Kömürün islanması Amott-Harvey Test İndeksi (I_o) və USBM testindən fərqli olaraq lokal parametrlərdir və bütün süxur üzrə orta islanmanı xarakterizə edir və süxurun kimyəvi tərkibi haqqında tam məlumatı özündə əks etdirmir. Məsələn mühit neft-nəm əgər $I = [0.3, 1]$, su-nəm bərabərdir $I = [-1, -0.3]$, və aralıqdır $I = [-0.3, 0.3]$. Amott-Harvey İndeksi bütün süxur üzrə islanmanın paylanması haqqında təsəvvür yaratmağa imkan vermir. Bizim istifadə etdiyimiz kömürün islanması parametri daha konkretdir və asfaltenlərin çökməsi zamanı islanmanın dəyişməsinin tətbiq edilməsinin modelləşdirilməsində çətin istifadə olunur. Bu yanaşmanın neft sənayesində yeniliyi ondadır ki, kömürün islanma parametri İki Fazlı Lattice Boltzmann Metodu (LBM) kimi modellərdə təhlil olunmuşdur. Bu model islanmanın dəyişməsinə təsir edən faktorların öyrənilməsinə adaptasiya olunmuşdur. LBM modeli üzərində işlər haqqında aşağıda məlumat veriləcək.

3. Asfaltenlər dəqiq kimyəvi strukturaya malik olmadığına modelin seçilməsi Asfaltenlərin Başlangıç Təziqiyyəsinin (ABT) və Asfaltenlərin Son Təziqiyyəsinin (AST) və müxtəlif təzyiq və temperaturlarda asfaltenlərin çökməsinin təsvir edilməsi üçün əsas və ən vacib məsələlərdən biridir. Bu tədqiqat işində neftin ağır fraksiyası olan asfaltenlərin müxtəlif təzyiq və temperaturlarda çökməsinin təsvir edilməsi üçün Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) termodinamik modeli istifadə edilmişdir. Bu istiqamətdə Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modelinin Redlich - Kwong (RK), Soave - Redlich - Kwong (SRK), Peng - Robinson (PR) modelləri ilə müqayisəli təhlili aparılmışdır. Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modeli termodinamik sistemdə polyar molekulların həyəcanlanması və onların qarşılıqlı əlaqəsi kimi müsbət məsələləri öyrənilir. PC - SAFT modelinin digər modellərlə müqayisəli və analitik təhlili göstərir ki, o hazırkı tədqiqat prosesində tətbiq edilməsi üçün bütün vacib olan keyfiyyətlərə malikdir. Əvvəlki mərhələlərdə aparılan işlərin və nəşr edilmiş elmi işlərin icmalı əsasında Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) termodinamik modelinin təkmilləşdirilməsi axıra çatdırılmışdır. Model alqoritmik olaraq MATLAB proqramlaşdırma mühitində realizə edilmişdir.

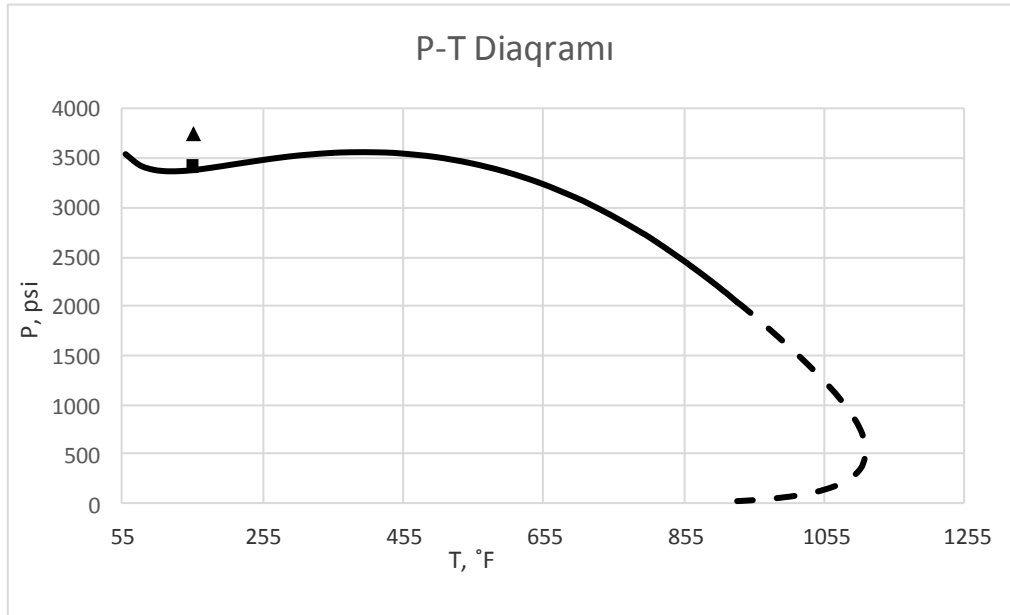
Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) termodinamik modeli Qaynama temperaturu, Kondensasiya temperaturu, Sıxılma əmsali və Maye Sıxlığı üçün dəqiq nəticələrin alınması üçün kalibrasiya olunmuşdur. Bu kalibrasiya hazırkı tədqiqat üçün mühüm işlərdən biridir. Kalibrasiyanın əsas problemi neftdə olan ağır fraksiyalarla əlaqədardır və onların kimyəvi tərkibi dəqiq təyin olunmamışdır. Məsələn, bir sıra ağır fraksiyalar üçün molekullar arasında hidrogen əlaqəsi çüzi ola bilər, bəzi hallarda isə hidrogen əlaqəsinin dəqiq qeydə alınması molekullar arasında polyar qarşılıqlı əlaqənin alınması kimi çox vacibdir.

Hazırkı tədqiqat işində əsas diqqət molekulların polyarlaşmasına yönəldilmiş və ikili əlaqə əmsali adlandırılan parametr vasitəsilə onlar nəzərə alınmışdır. PR_78 modelində də həmçinin bu parametr iştirak edir, lakin bu əmsallar Həyacanlandırılmış Şəbəkli Maye Birləşmələrinin Statistiki Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) termodinamik modelinə uyğun gəlmirlər, belə ki, bu modellərdə qarşılıqlı əlaqənin müxtəlif tipləri nəzərə alınır. Məsələn, bizim istifadə etdiyimiz modeldə isə əsas faktorlardan biri kimi zəncir-zəncir əlaqəsinin olmasıdır.

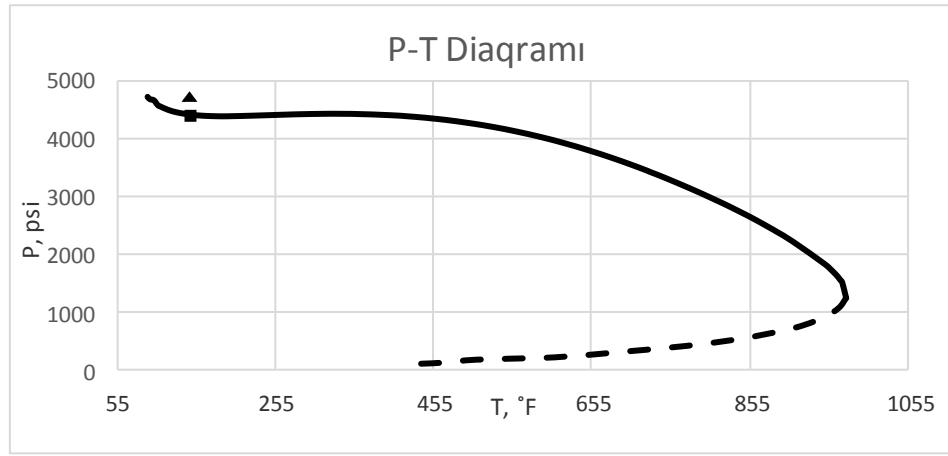
Hazırkı modelin Qaynama temperaturunun, Kondensasiya temperaturunun, Sıxılma

əmsalının və Mayenin sıxlığının təyin olunması üzrə modulları ilə birlikdə tam algoritmi yazılmışdır. Nümunə 1 üçün əldə edilən nəzəri nəticələr: qaynama temperaturunun təzyiqi $T = 151$ F -də $P = 3368$ psi və doyma sıxlığı $\rho = 728$ və eksperimental nəticələr $P = 3486$ psi, $\rho = 743$ təşkil etmişdir. Qaynama temperaturunun təzyiqinin nəzəri və eksperimental nəticələri arasında fərq 3.1% təşkil etmişdir. Nümunə 2 üçün: qaynama temperaturunun təzyiqi $T = 141$ F olanda Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modelində alınmış nəticədə $P = 4413$ psi, doyma sıxlığı $\rho = 698$, eksperimental nəticələrdə isə $P = 4411$, doyma sıxlığı $\rho = 709$ təşkil etmişdir. Nümunə 2 üçün qaynama temperaturunun təzyiqinin xətası 0.07% təşkil etmişdir.

Bu məlumatlardan görüldüyü kimi bu tədqiqat işində istifadə etdiyimiz Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modelinin nəticələri eksperimental məlumatlarla daha yaxşı uyğunluq təşkil edirlər (şəkil. 7, şəkil. 8).



Şəkil 7. Nümunə 1. Bütöv və ştrixlənmiş xətlər Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modelləşdirməsinin nəticələrinə, kvadrat eksperimentə və üçbucaqlar Peng Robinson 78 modelinin nəticələrinə uyğun gəlir.



Şəkil 8. Nümunə 2. Bütöv və ştrixlənmiş xəttlər Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) modeləşdirməsinin nəticələrinə, kvadrat eksperimentə və üçbucaqlar Peng Robinson 78 modelinin nəticələrinə uyğun gəlir.

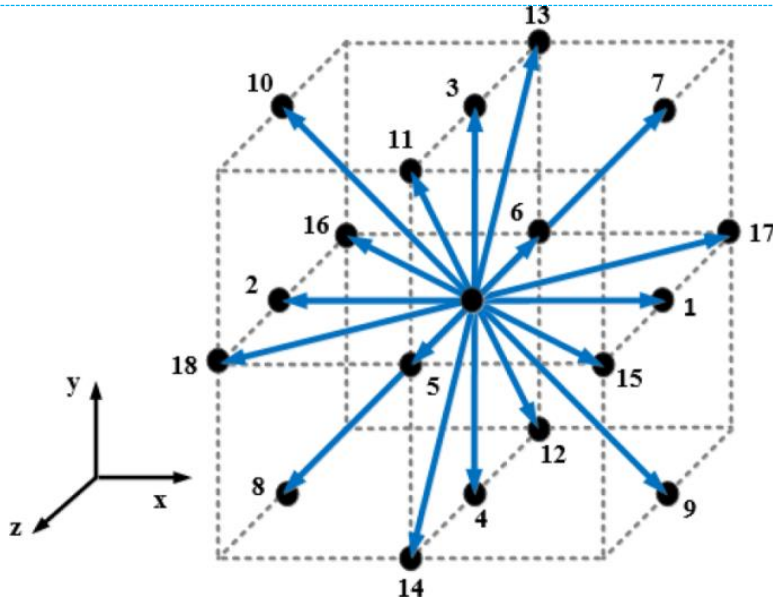
Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) termodinamik modelinin əsasında ağır fraksiyaların tökülməsinin öyrənilməsi və modeləşdirilməsi praktiki olaraq başa çatmışdır.

Bundan başqa bu mərhələdə rezervuar qumdaşılarda sementlənmə dərəcəsi və mineral tərkibdən asılı olaraq su-neft sistemi ilə islanma qabiliyyətinin dəyişməsi, yüngül neftin və ya yetkinlik dərəcəsi aşağı olan neftlərin yüksək gillilik həcminə malik qumdaşılarda biodegradasiyaya məruz qalması ilə ağır neftlərə çevrilməsi məsələrinə həsr edilmiş elmi işlər təhlil edilmişdir.

4. Layihə üzərində aparılan işin dördüncü mərhələsində məqsəd kimi süxurun real geometriyasını və həmçinin, flüidlərin (neftin və suyun) xassələrini nəzərə almaqla mütləq və nisbi keçiriciliyi təyin etmək üçün real məsaməli mühitdə birfazlı və ikifazlı axınların simulyasiyası üzrə tam modelin qurulması məqsəd kimi qoyulmuşdur.

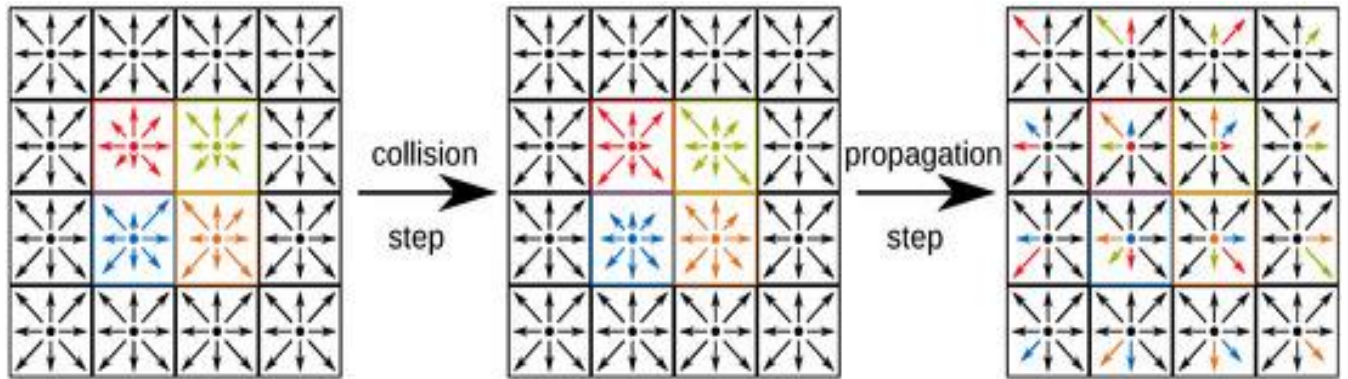
Bu metod rolunda biz 3-ölçülü məkanda geniş yayılmış Bolsman Şəbəkə Tənliyi Metodunu (LBM) seçmişik. Bu modelin sistemi D3Q19. Q19 adlanır və yayılma və istiqamətin mümkün olan ehtimalının cəmi 19 olduğunu xarakterizə edir.

Bu model mayenin (neft və suyun) və ya qazın simulyasiyasına kollektiv hissəciklər kimi baxır, yəni simulyasiya mezoskopik səviyyədə baş verir. D3Q19 modeli sxematik olaraq müstəvidə şəkil 9-da göstərilmişdir.



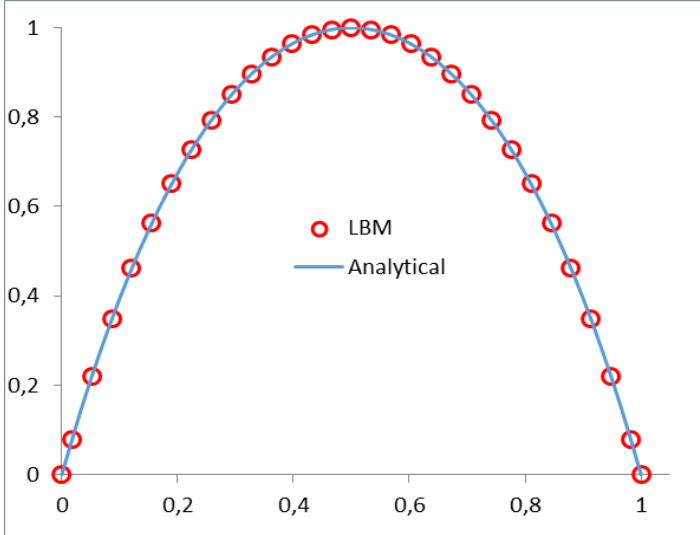
Şəkil.9. LBM D3Q19 modelinin sxemi

Model iki əsas hissələrdən təşkil olunub: hissəciklərin yayılması və toqquşması. Onun sxemi ikiölçülü proyeksiyada şəkil.10-da göstərilmişdir.



Şəkil.10. LBM D3Q19 modelinin sxemi 2 mərhələdən təşkil olunub: yayılma və toqquşma.

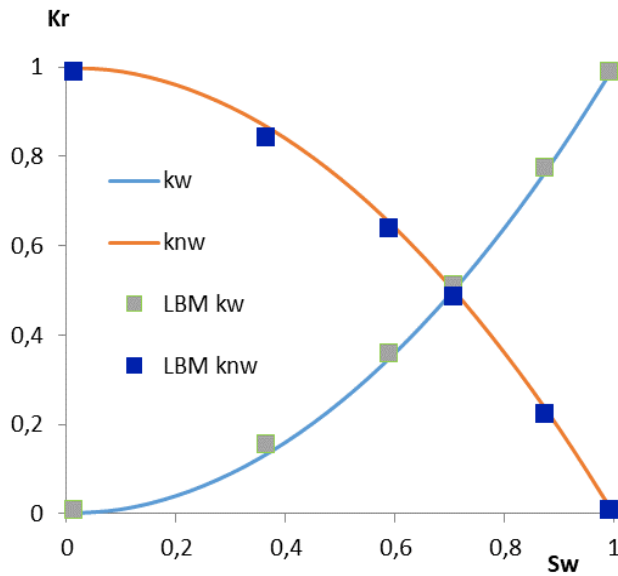
Belə modellərlə işləyən zaman qurulan modelin düzgünlüyünə əmin olmaq üçün ilk növbədə analitik metodla müqayisə aparmaq lazımdır. Belə analitik metodlardan biri kimi biz silindrik borudan keçən birfazlı və ikifazlı axını seçmişik. Birfazlı axın üçün şəkil.11-də göstəriləndiyi kimi müqayisə sürətlərin profili üzrə aparılmışdır.



Şekil.11. LBM D3Q19 sürətlərinin və analitik həllin müqayisəsi.

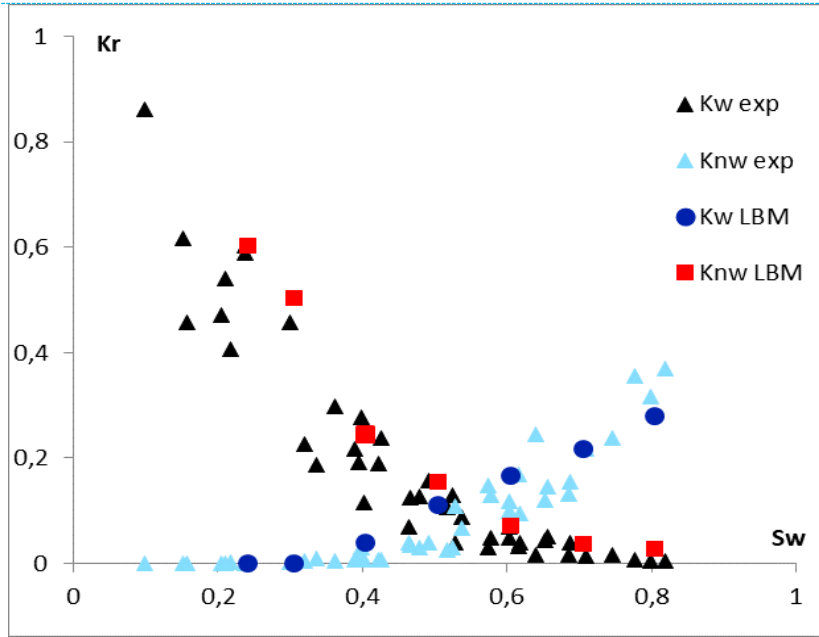
Şəkildən görüldüyü kimi, nəticələr mütləq dəqiqliklə üst-üstə düşürlər.

Sonrakı işlər ikifazlı axının simulyasiyası üçün aparılmış və həmçinin, onun üçün paralelipiped kanalında iki fazanın nisbi keçiriciliyinin sınağı aparılmışdır (şekil.12).



Şekil.12. LBM D3Q19 modelinin neft və suyun nisbi keçiriciliyinin və analitik həllin müqayisəsi.

Bu mərhələnin əsas nəticəsi kömürün islanmasından asılı olaraq, 20.1% məsaməliyə malik olan Bentheimer qumdaşısının real məsaməli mühitində neft və suyun simulyasiyası olmuşdur (şekil.13). Bu simulyasiya göstərir ki, islanma qabiliyyəti nisbi keçiriciliyə təsir edən əsas həlledici faktordur.



Şəkil.13. LBM D3Q19 neft və suyunun nisbi keçiriciliyinin və eksperimental nöqtələrin müqayisəsi.

Bu mərhələdə həmçinin, müxtəlif çökmə şəraiti ilə xarakterizə olunan rezervuar qumdaşlarında konsolidasiya dərəcəsi, tekstura və mineral tərkibindən asılı olaraq su-neft sistemi ilə islanma qabiliyyətinin dəyişməsi və xarakteri, müxtəlif yetkinlik dərəcəsinə malik neftlərin rezervuarlarda doyumluluğunun xüsusiyyətləri və həmin qumdaşlarında müxtəlif gil tərkibindən asılı olaraq petrofizik xüsusiyyətlərin təhlil edilməsi aparılmış və XRD və SEM eksperimentlərin aparılmasına hazırlıq işləri aparılmışdır.

5. Statistik modelin nəticələri:

- Sementlənmə əmsalının modelləşdirilməsi
- Xüsusi elektrik müqavimətinin modelləşdirilməsi
- Mütəlak keçiriciliyin modelləşdirilməsi

Bu model Petrofizikada bəzi məsələlərin həllində tətbiq oluna bilər:

- Yuxarıda qeyd edildiyi kimi bu statistik model üçün daxil edilən məlumatlar məsələlərin ölçülərinə görə paylanmasıdır. Neft sənayesində məsələlərin ölçülərinə görə paylanması məlumatları kifayət qədər çoxdur və analoji eksperimentlərə nəzərən onların əldə edilməsi daha ucuz başa gəlir. Bizim model məsələlərin ölçülərinə görə paylanması məlumatlarını bilməklə yuxarıda qeyd edilən parametrləri hesablamağa imkan verir, ancaq sementlənmə əmsalının, xüsusi elektrik müqavimətinin və mütəlak keçiriciliyin eksperimental təyini (RCAL eksperimentləri) kifayət qədər baha başa gəlir.
- Bizim hesabladığımız parametrlər neft sənayesində qalıq neftlər (qalıq neft doyumluluğu) kimi parametrlərin hesablamaq və həmçinin, süxurların keçiriciliyini

qiymətləndirməyə kömək edir.

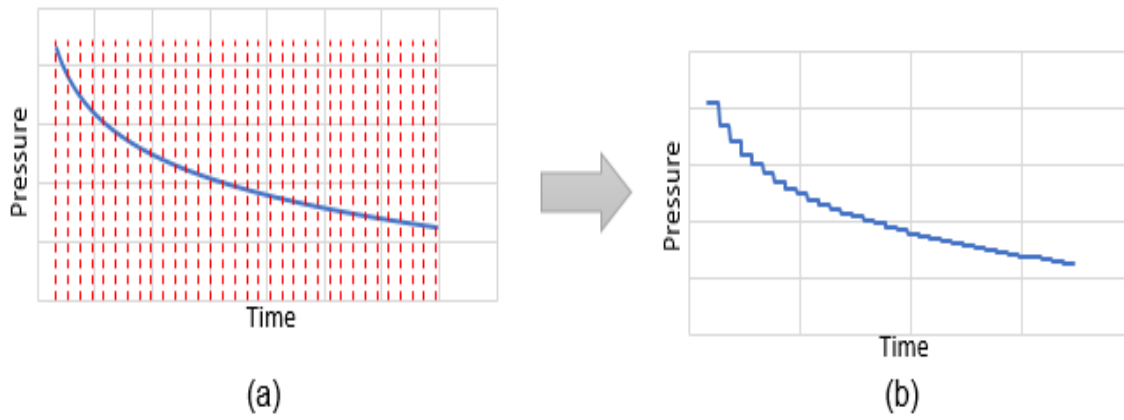
6. Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) termodinamik modelinin nəticələri:

- Faza sərhədlərinin(qaynama temperaturu, kondensasiya temperaturu, kritik nöqtə) alınması
- Gaz Neft Nisbətinin modelləşdirilməsi
- Lay həcmnin əmsalının modelləşdirilməsi
- Asfalten və parafinlər kimi ağır fraksiyaların tökülməsinin modelləşdirilməsi

Bu nəticələrin əhəmiyyəti aşağıdakılardan ibarətdir:

- Məlumdur ki, quyularda rezervuarlara nəzarət və monitoring neftin termodinamik hərəkəti ilə sıx əlaqədardır və rezervuarlara daxil olan neftin hansı xassəyə malik olduğunu bilmək vacibdir. Bizim təklif etdiyimiz model PVT analizə alternativ sayılır. Öz növbəsində Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) termodinamik modeli ilə neftin xassəsinin modelləşdirilməsiində hər-hansı bir xərc tələb olunmur və həmçinin, modelləşdirmə üçün çox vaxt sərf etmək tələb olunmur.
- İkinci moment ondan ibarətdir ki, keçən zaman müddətində rezervuarda neftin kimyəvi tərkibinin və xassəsinin dəyişməsi asfalten və parafinlərin tökülməsinin başa düşülməsində və monitoringində problem yaradır. Bu ağır fraksiyalar quyu rejiminə güclü şəkildə təsir edir və bu da öz növbəsində məsaməli mühitdə məsamələrin bloklanma effektinə məruz qalması problemini yaradırlar. Bununla əlaqədar olaraq, bu ağır fraksiyaların mümkün tökülməsinə səbəb olan təzyiq və temperaturun termodinamik diapazonlarını əvvəlcədən proqnozlaşdıraraq modelləşdirməni həyata keçirməyi bacarmaq çox vacibdir ki, əvvəlcədən rejimə nəzarət etmək və problemin qarşısının alınması mümkün olsun. Bu prosesin tam nəzarətə götürülməsi üçün Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) termodinamik modeli tamamilə bu problemin həll etmək iqtidarındadır.
- Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) modelinin köməyi ilə quyuda neftli laylardan parafinlərin çökməsinin medolleşdirilməsinin metodologiyası hazırlanmışdır. Simulyasiyanın aparılması üçün böyük zaman tələb olunduğunu nəzərə alaraq, quyunun bütün tarixləri hər 10 gün üçün hissələrə bölünmüş və bu on günlərin parametrləri ortalaşdırılmışdır. Periodların bölünmə sxemi Quyuəgzı Təzyiq (WHP) və Quyudibi Təzyiq (BHP) hallarında şəkil 1-də göstərilmişdir. Uyğun olaraq, eyni yanaşma başqa parametrlərə də tətbiq olunmuşdur. Bu cür yanaşma ilə bütün quyu üzrə simulyasiyasının müddəti bir dəqiqəyə yaxın vaxtı əhatə etmişdir. Kod Python proqramlaşdırma dilində yazılmışdır.

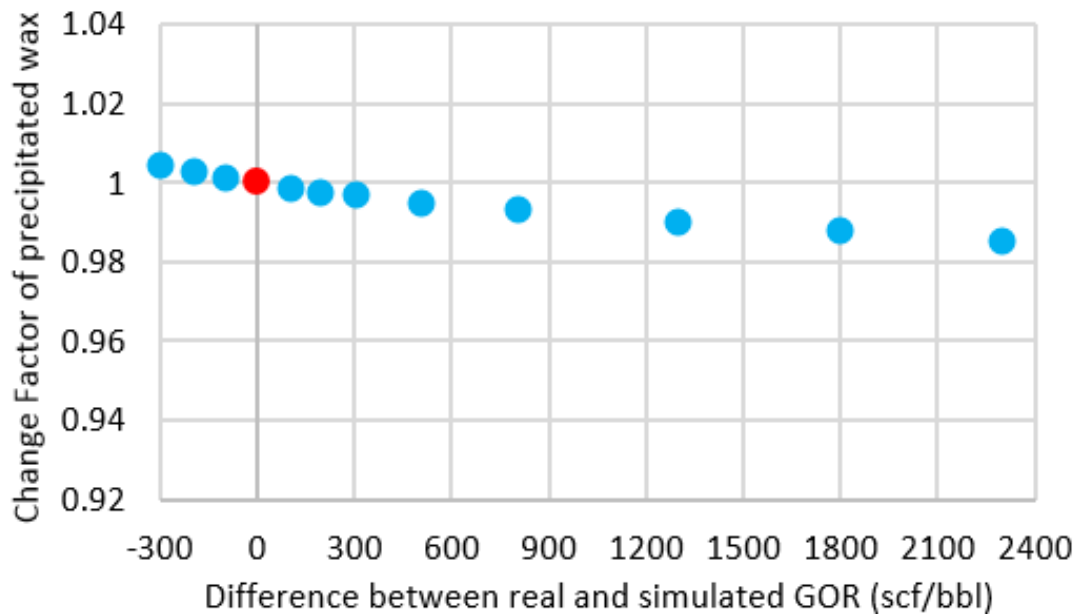
Neftin tərkibinin nümunəsi kimi qazsızlaşdırılmış şəraitdə neftin kompozisiyası və ayrıca qazın tərkibi götürülmüşdür. Sonra isə Qaz-Neft Əmsalı (GOR) məlumatının istifadə olunması ilə neftin tərkibinin rekonstruksiyası aparılmışdır.



Şəkil 1: (a) təzyiq məlumatlarının 10- günlük seksiyalarına bölünməsi, (b) təzyiq məlumatlarının 10 gün periodunda ortalaşdırılması

Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC-SAFT) modelini istifadə edən bu metodoloji yanaşma quyuların termodinamik parametrlərini nəzərə almaqla, bütün quyu boyu neft laylarından zamanın istənilən anında parafinlərin çökməsini və onların miqdarını hesablamağa imkan verir. Bütün quyuboyu temperatur məlumatları qismində real zaman kəsiyində dəyişən temperatur profili seçilmişdir. Təzyiq profilində isə Quyuağzı Təzyiq (WHP) və Quyudibi Təzyiq (BHP) halları ilə nəzərə alınmışdır.

Qaz-Neft Əmsalı (GOR) üzrə Həyacanlanma Analizi

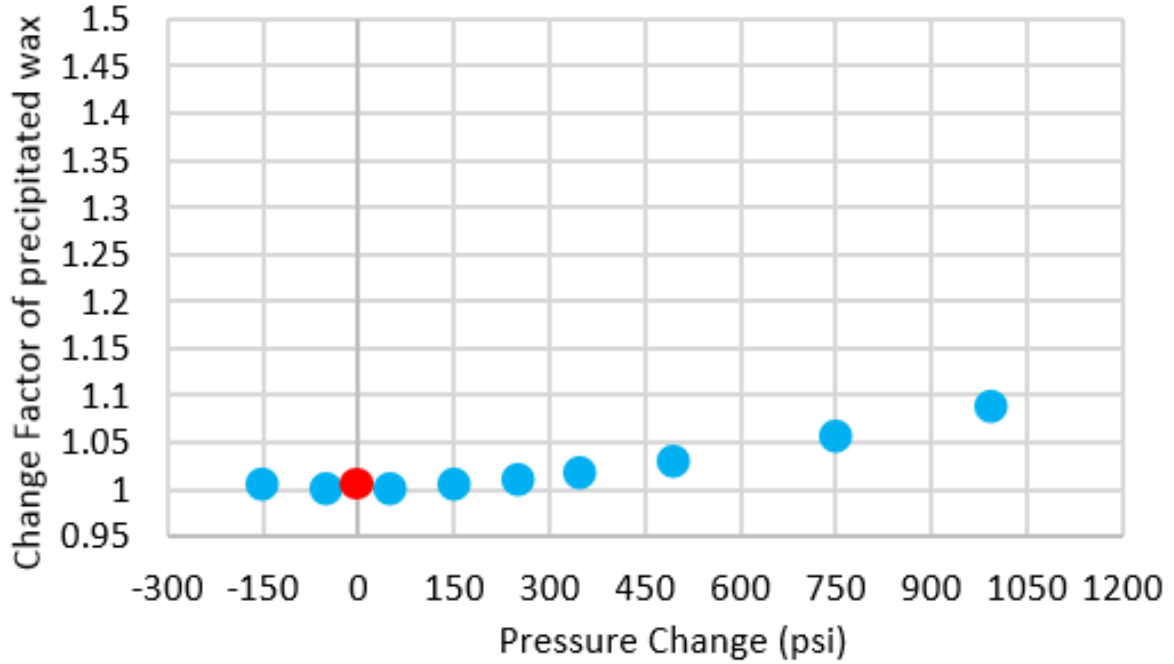


Qırmızı nöqtələr parametrlərin real qiymətlərini göstərir, göy nöqtələr isə digər parametrlərin fiksasiya olunması zamanı həyacanlanma analizi üçün seçilmişdir.

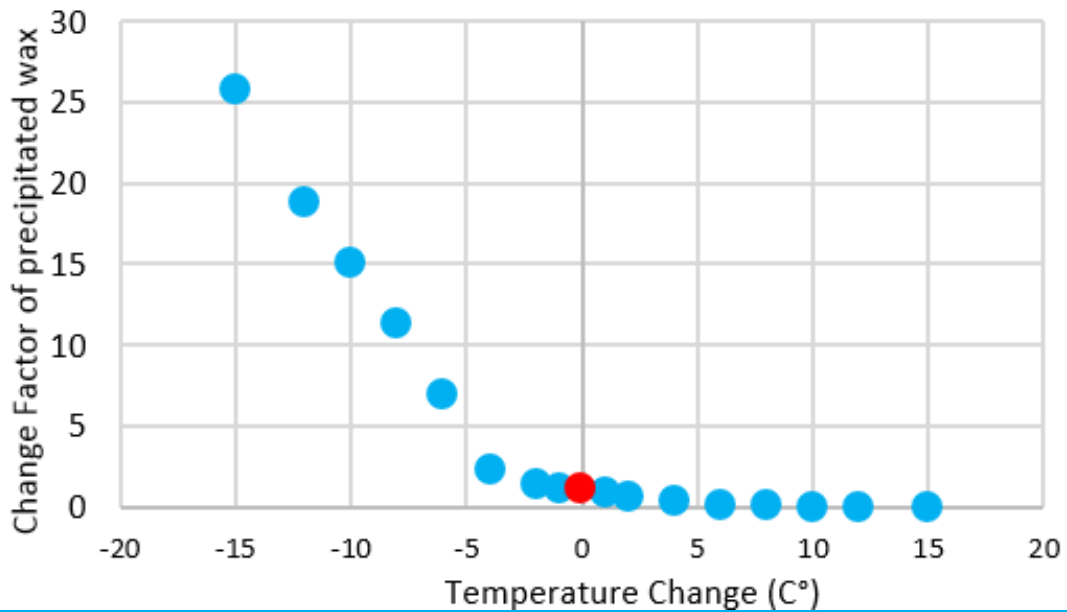
Qrafiklərdən görüldüyü kimi, əsasən təzyiqin və Qaz-Neft Əmsalının (GOR) effekti temperaturun təsirinin effekti ilə müqayisədə zəif olduğu müşahidə edilir.

Bu təhlil onu göstərir ki, quyuda neft layından parafinin çökməsinə səbəb olan vacib faktor temperatur parametridir.

Təzyiq üzrə Həyacanlanma Analizi



Temperatur üzrə Həyacanlanma Analizi



- Bu metodik yanaşma əvvəlcədən neft laylarında parafinin çökməsini ehtimal etmək və parafinlə tutulma nəticəsində quyuların bloklanması kimi effektlərin qarşısının alınması üçün çoxsaylı quyularda tətbiq oluna bilər.

Bu işin əsas yeniliyi süxurda neftin ağır komponentlərinin tökülməsi prosesini və bu prosesin elektrik müqavimətinin artmasına təsirini tam olaraq başa düşməkdən ibarətdir.

7. Bolsman Şəbəkə Tənliyi Metodunun (LBM) nəticələri:

- Real məsaməli mühitdə mütləq və nisbi keçiriciliklərin modelləşdirilməsi
- Kömürün islanmasından asılı olaraq nisbi keçiriciliyin həyəcan əyrisinin analizi
- İslanma qabiliyyətinin modelləşdirilməsi

Bu nəticələrin əhəmiyyəti aşağıdakılardan ibarətdir:

- Nisbi keçiriciliyin qiymətləndirilməsi üzrə eksperiment yarım ilə qədər uzanır və bu da karbohidrogen yataqlarının istismarı üzrə qərarların qəbul edilməsində problemlərə səbəb olur. LBM metodu bu simulyasiyanı hər-hansı xərc sərf etmədən bir neçə həftənin ərzində həyata keçirir. Burada istifadə ediləcək yeganə eksperiment süxurların rəqəmsal qiymətlərinin alınması ilə əlaqədardır ki, bu da süxurların kömpüter tomoqrafiyasıdır.
- Həmçinin, eksperiment zamanı çoxsaylı parametrlərdə həssaslıq analizinin bütün diapazonlarını əhatə etmək mümkün deyil. Lakin, LBM bunları bir neçə eksperimentin reallaşdırılmasının köməyi ilə həyata keçirir.
- Həmçinin, LBM hidrodinamikanın və aerodinamikanın tətbiqi məsələlərində də geniş tətbiqə malikdir.

Bütün qeyd edilən üsullar yüksək dəqiqlikli geniş spektrli nəticələr almağa imkan verir.

Lattice Boltzmann Metodu (LBM) modelləşdirməsi

LBM metodunun alqoritminin əsas ideyası vahid kimi hissəciklərin toplanmasını müşahidə etməkdir. Sistemdə çox miqdarda hissəciklərdən təşkil olunmuş ayrı-ayrı molekulları modelləşdirmək çox məntiqsizdir. Uyğun olaraq, modelləşdirmənin aparılması üçün Maksvell paylanması ilə təqdim edilən hissəciklərin qruplaşdırılması tələb olunur.

$f_i(x, t)$ paylanma funksiyası t zamanında x səviyyəsində i ilə işarə edilən üç (D3Q19) ölçmələrində 19 istiqamətə uğun gələn flüid hissəciklərinin tapılması ehtimalını xarakterizə edir. Məkan və zaman şəbəkədə (grid şəbəkələr) və uyğun olaraq zaman addımlarına diskretləşmişdir. Bu paylanma funksiyalarının məkan və zamanda inkişafı

Boltzmann Tənliyi ilə verilir:

$$f_i(x + e_i \delta_t, t + \delta_t) - f_i(x, t) = \Omega_i(x, t)$$

Harda ki, $f_i(x, t)$ diskretləşmiş paylanma funksiyasını, $f_i(x + e_i \delta_t, t + \delta_t)$ isə növbəti zaman addımında e_i vector istiqamətinə keçən eyni paylanmanı xarakterizə edir. $\Omega_i(x, t)$ müddəti BGK (Bhatnagar-Gross-Krook) aproksimasiyasını istifadə etməklə aproksimasiya oluna bilən kolliziya operatorudur,

$$\Omega_i[f] = \frac{1}{\tau} (f_i - f_i^{eq})$$

Hansı ki, τ relaksasiya parametri və f_i^{eq} isə diskretləşmiş local bərabərlik paylanmasıdır. Burada iki və çox relaksasiya zaman sxemləri daxil olmaqla ədəbiyyatda başqa kolliziya sxemləri istifadə olunmuşdur.

Təsdiqlənmə:

Nisbi keçiricilik əyrilərinin qiymətləndilməsinə qədər LBM-in necə fiziki mövcudluğu yaratmasının sınaq edilməsi vacibdir. Bu məqsədlə, üç iki-fazlı məsələ istifadə edilir: kontakt bucağı, səthi gərginlik və slindrin nisbi keçiriciliyi.

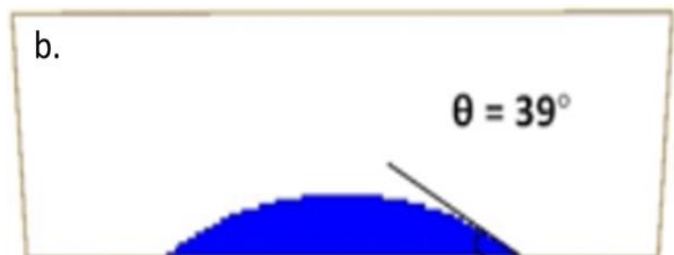
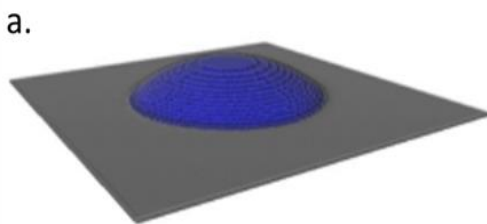
İslanma qabiliyyəti fazaların nisbi keçiriciliklərinə nəzarət edən dominant parametrlərdən biridir. Bu sınaq ona görə vacibdir ki, analitik hesablanan kontakt bucağın modelləşdirilən modelə uyğun gəldiyini yoxlasın. Əgər kontakt bucağının düzgün olduğunu ehtimal etsək, həssaslıq analizi nisbi keçiriciliyə nisbətən aparıla bilər. Kontakt bucağının ehtimalının yoxlanmasına uyğun olaraq, islanma fazasının damcıları məsəmə divarının yaxınlığında yerləşir, obyektin qalan hissələri islanma olmayan faza ilə dolur (şəkil.13.a).

Heç bir xarici qüvvə tətbiq edilmir və zona bütün 6 altı istiqamətlərdə məsəmə divarları (davamlı şəbəkələr) əhatə edilir. Birbaşa simulyasyadan damcının bazası və hündürlüyü hər zaman addımında ölçülür.

Modelləşdirmə o zamana qədər davam etdirilir ki, damcının əsası və hündürlüyü toqquşmasın. Hər iki flüid üçün G_{adh} müxtəlif qiymətləri ilə bir neçə hal modelləşdirilir. Analitik kontakt bucağı aşağıdakı tənliyin uyğunluğu ilə müəyyən edilir:

$$\cos\theta = \frac{G_{adh,2} - G_{adh,1}}{G_c}$$

Simulyasyadan ölçülən kontakt bucağının nümunəsini şəkil 13.b.-də görə bilərik.



Şəkil13. a. İslanma qabiliyyətinin sınağı üçün müəyyən edilmiş damcının üç- ölçülü görü və şəkil 13.b. iki-ölçülü görünüşləri. Sağ şəkil simulyasyadan kontakt bucağının necə ölçüldüyünü göstərir. İkinci şəkil isə flüidin daha aydın olduğunu göstərir.

Nisbi Keçiriciliyin məyyən edilməsi

Nümunə kimi Bentheimer qumdaşı süxurunun aşağıdakı xarakteristikaları istifadə edilmişdir:

Bentheimer qumdaşı yaxşı çeşidlənmişdir və əsasən kvardan (70% - 80%), çöl şpatından (20% - 25%), və autigenik gillərdən (2% - 3%) təşkil olunmuşdur. Əsas gil növü kaolinitdir. Qeyd edilən qumdaşının nümunələrinin məsaməliyi 0.232 and 0.241 arasında dəyişir. Rutin Kerna Analizindən (RCAL) alınan mütləq keçiricilik 2840 – 2930 mD arasında dəyişir.

Bentheimer plaqları üçün ilkin drenaj və nisbi keçiriciliyin azalma əyrisi kernada neft və su səviyyəsinin stabilləşməsinə qədər stasionar üsulla təyin edilmişdir. Hər bir fazanın nisbi keçiriciliyi Darsi qanunu ilə hesablanmışdır.

Bentheimer rəqəmsal qumdaşı süxur nümunəsinin şəbəkə xassəsi aşağıdakı kimidir:

- Voksellərin sayı – 256 x 256 x 256
- Görüntü qabiliyyəti – 6.67 µm
- Məsaməlik (voksellərin ümumi sayına nəzərən sıfırların nisbəti) – 0.219
- Mütləq keçiricilik (Ramstad və başqaları tərəfindən ehtimal edilən) – 1910-2074 mD

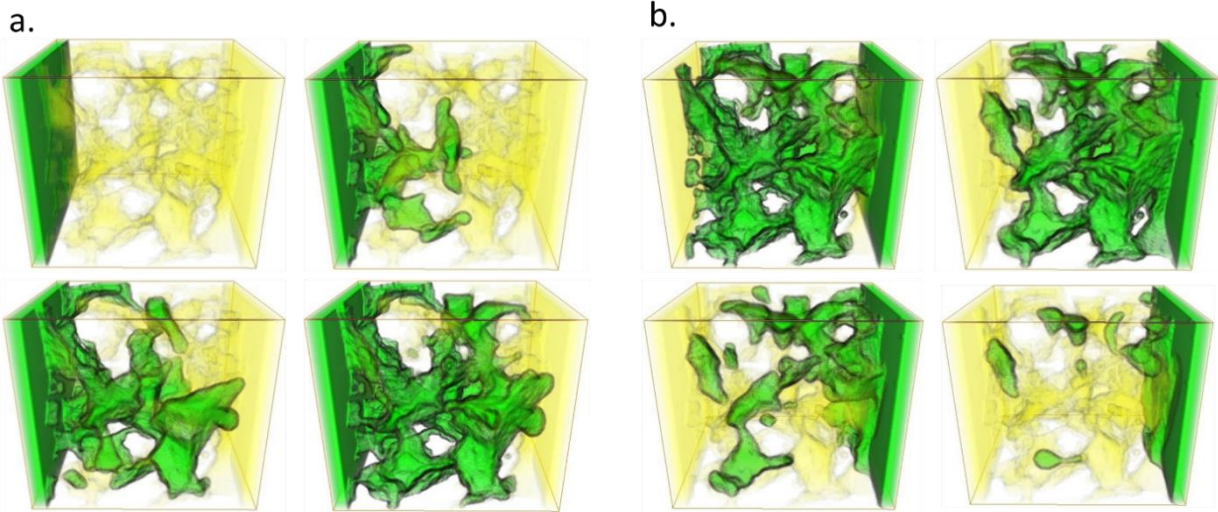
Qeyd etmək çox vacibdir ki, rəqəmsal süxurun millimetr miqyasında fiziki ölçüsü santimetr ölçülü plaqlarla müqayisədə nisbi keçiriciliyin ölçülə bilməsini mümkün edir. Belə ki, Bentheimer qumdaşısı az miqdarda gilliyə malik yaxşı çeşidlənmiş kvars dənələrindən təşkil olunub və hesab edirik ki, bu süxur nisbətən böyük məsamələrə malikdir. Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda qeyd edilənlər ehtimal olunan məsamələrin ölçülərinə görə paylanmasında öz təsdiqini tapa bilmir. Ona görə ki, Cıvəurma ilə Kapilyar Təzyiq (MİCP) məlumatları burada yoxdur. Məsaməlik və keçiriciliyin yüksək qiymətləri də onun qəbul edilməsini mümkün deyil sayır.

Bu nümunənin görünmə qabiliyyəti (6,67 mikron) süxurun geometriyasını tam əhatə etməyə imkan verə bilər. Lakin bütün qumdaşılar üçün vahid görünmə qabiliyyəti yoxdur. Başqa tərəfdən, kompüter tomoqrafiyasının təsviri nə qədər yüksək görünmə qabiliyyətinə malik olsa, bir o qədər dinamik modelləşdirmənin köməyi ilə proqnozlaşdırmanı həyata keçirmək olar.

Simulyasiyanın başlanğıcında neft və suyun ilkin paylanması qeyd edilir və bu da maraq kəsb edən vəziyyəti imitasiya edə bilər. Nisbi keçiricilik əyrisinin- drenaj və sovrulmanın qiymətləndirilməsi üçün Boltsmann Şəbəkə Metodunun tətbiqi ilə yerdəyişmənin iki mexanizmi modelləşdirilir. İlkin olaraq, məsamə zonası tamamilə su (islama fazası) ilə dolmuşdur və neft (islama məmamiş faza) vurulması ilə Dirixle sərhəd şərtləri ilə drenajın simulyasiyası aparılır. Modelləşdirmə o vaxta qədər həyata keçirilir ki, suyun hasilatlı sərhədə çıxışda bitməmiş olsun və neftin sürəti dayanıqlı vəziyyətə çatmamış olsun. Periodik sərhəd şərtləri ilə hər fazanın nisbi keçiriciliyinin nisbi qiymətlərinin formalaşması üçün məqsədli doyumluluq üçün hər fazanın dayanıqlı

sürətləri saxlanılır. Drenaj prosesinin flüid axınının son paylanması drenaj- sovrulma gecikməsinə tutmaq üçün dayanıqlı sovrulmanın modelləşdirilməsi üçün flüidin ilkin paylanması kimi ötürülür.

Hər fazanın axın sürəti sahə üzrə orta qiymətə gətirilir və Darsi qanununun ikifazlı uyğunlaşmasını istifadə etməklə laborator eksperimentlərlə doymululuğun hər qiyməti üçün nisbi keçiricilik hesablanır. Drenaj və sovrulma yerdəyişmələri şəkil 14.a və 14.b-də göstərilmişdir.

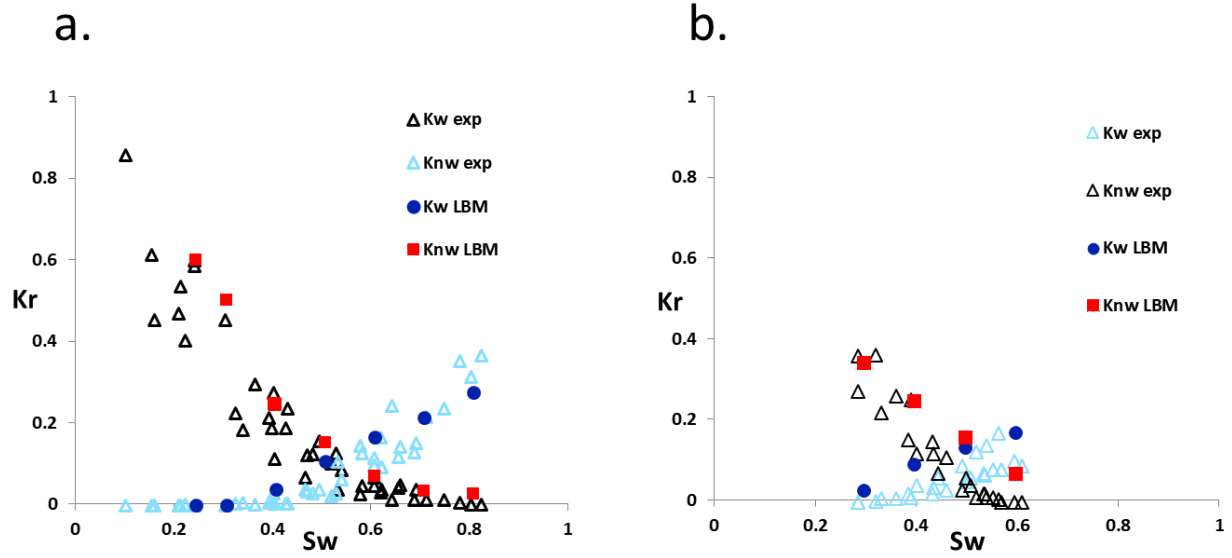


Şəkil 14. a. İslanmaya səbəb olmayan neft fazasının islanmaya səbəb olan su fazasının yerdəyişməsinə səbəb olan drenaj prosesinin simulyasiyası; b. İslanmaya səbəb olan su fazasının islanmaya səbəb olmayan neft fazasının yerdəyişməsinə səbəb olan sovrulma prosesinin simulyasiyası. Yaşıl rəngli görüntü neft, sarı rəngli görüntü məsamə məkanı və su isə açıq rəngli görüntü ilə xarakterizə olunmuşdur.

Biz burada eksperimental məlumatların drenaj və sovrulmanın modelləşdirilməsinin nəticələri ilə yaxşı uyğun gəldiyini müşahidə edirik (şəkil 15.a və 15.b). Lakin, islanma olmayan fazanın nisbi keçiriciliyi sovrulma prosesinin yüksək su doymululuğu üçün nisbətən daha çox ehtimal olunur. Bu həmçinin islanma fazasının nisbi keçiricilik qiymətləri üçün qanunauyğundur.

Baxmayaraq ki, qalıq suların doymululuğu ehtimalı sovrulma prosesinin simulyasiyasında dəqiqdir, lakin qalıq neftdoymululuğun proqnozlaşdırılmasında bir sıra fərqli qiymətləndirmələr də mövcüddür.

Drenajın nisbi keçiricilik qiymətləri ilə eksperimental məlumatların mükəmməl uyğunluğu mövcüddür. Hər ikisində son nəticələr daha dəqiq ehtimal olunmuşdu, nəinki elmi ədəbiyyatda çap olunan nəticələr. Belə yaxşı uyğunluq müəyyən kontakt bucağı üçün alınmışdır və nisbi keçiricilik əyriləri üzrə bu parametrlərin flüid xassələri və həssaslıq analizi ayrı-ayrı təsirlərin qiymətləndirilməsi üçün simulyasiya edilə bilər.



Şəkil 15. Dayanıqlı vəziyyətdə nisbi keçiriciliyin simulyasiyası a. drenaj üçün b. Bentheimer qumdaşılarının eksperimental məlumatları ilə müqayisədə sovrulma üçün.

Ağır komponentlərin modelləşdirilməsi və modelin kalibrasiyası

Aparılan tədqiqatın yekun mərhələsində asfaltenlərin tökülməsinin modelləşdirilməsi zamanı əlavə olaraq quyunun daxilindən radial temperatur qradienti nəzərə alınmış və temperatur profilinə tətbiq edilmişdir.

Həmçinin, quyuda daxilində asfaltenlərin tökülməsinə təsir edən bütün əlavə parametrləri nəzərə alan alqoritm yazılmışdır.

Termodinamik modelin parametrlərinin düzgün seçimi güclü dərəcədə Parafin, Naften və Aromatic karbohidrogenlərin laboratoriya eksperimentlərindən asılıdır.

Nəzərə alsaq ki, hazırki elmi işdə bu tədqiqat işlərinin aparılması obyektiv səbəblərdən həyata keçirilməmişdir, onun əvəzinə biz çoxparametrlili kalibrasiyanın riyazi modelini istifadə etmişik. Əvvəllər qeyd olunduğu kimi, neftin ağır komponentlərinin tökülməsinə təsir edən faktorlar kimi neftin tərkibi, temperatur və təzyiqdür. Lakin, asfaltenin olduğu halda, kritik olaraq ən vacib təsiredici parametr temperaturdur. Quyuda asfaltenin (və onun miqdarının) modelləşdirilməsi zamanı termal parametr qismində Paylanmış Temperatur Zondlaması (DTS) əsasında temperatur profili götürülmüşdür.

Bu avadanlığın spesifikasiyası quyunun kənarları boyunca DTS optik kabelinin yerləşdirilməsindən ibarətdir. Bu halda avadanlığın konfigurasiyası (yerləşməsi) ona gətirir ki, quyuda lateral istiqamətdə temperatur qradientini modelləşdirmək mümkün olsun.

Beləliklə, quyuda neft axını zamanı radial temperatur qradienti üçün istilik keçiriciliyinin tənliyi istifadə edilmişdir. İstilik keçiriciliyinin tənliyi aşağıda verilmişdir:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \left(V_r \frac{\partial T}{\partial r} + V_\theta \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = (\varepsilon_h + \alpha_T) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + R$$

Burada V – axının sürəti, T – temperatura, ε_h - turbulent istilik diffuziyası, α_T – termal diffuziyalılıq, R – generasiya hissəsi, r, θ, z – radial koordinatlar.

Kəmərində turbulənt axın zamanı local adveksiya üç istiqamətdə baş verir. Bu lokallaşmış advektiv hərəkətlər temperatur konsentrasiyasının dəyişməsi istiqamətində toplanaraq difuziya ilə nəticələnir. Uyğun olaraq, adveksiya əsasən axın istiqamətində (ox istiqamətində) yayılır. Ox istiqamətində diffuziya o qədər azdır ki, nəinki adveksiyaya ilə əlqədar nəql olunur. Hansı ki, məqsəd ondan ibarətdir ki, məsələnin həlli dayanıqlı şəraitdə tapılsın və keçid dövründəki yığımları nəzərə alınmasın. Yuxarıda qeyd edilən tənliyin çıxarılan hissəsindən sonra, aşağıdakı tənlik kimi verilsin:

$$V_z \frac{\partial T}{\partial z} = (\varepsilon_h + \alpha_T) \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + R$$

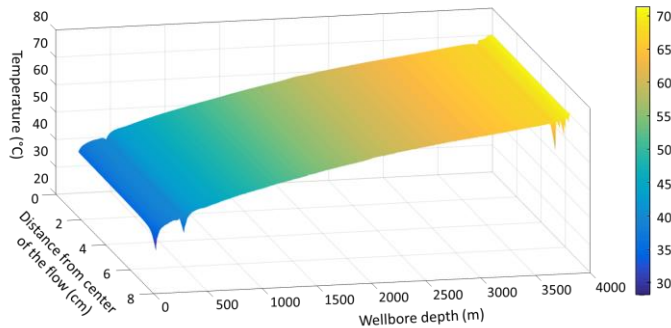
11 tənliyindəki generasiya müddəti flüidlərin kristallaşmasına səbəb ola bilər. Kristallaşma prosesində istilik ayrılır, ancaq mayenin çəkisi itir. Kristallaşma nəticəsində alınan material diffuziya və adveksiya müddəti ilə müqayisədə çox azdır və 0,1% təşkil edir. Beləliklə, generasiya müddəti həmçinin ləğv olunur.

Tənliyin yenidən qurulmasından sonra və ümumi diffuziya əmsalında diffuziyanın iki əmsalının cəminin dəyişməsindən aşağıdakı tənlik alınır:

$$V_z \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_{tot} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\alpha_{tot}}{r} \frac{\partial T}{\partial r}$$

Sonra tənliyə müəyyən edilmiş müxtəlifliyin metodikası tətbiq edilmiş və temperatura iki ölçülü məkanda (radius və dərinlik) diskretləşdirilmişdir. Nəticədə boru kəmərinin istənilən yerində temperatur alınmışdır.

Modelləşmənin nəticələrindən biri şəkildə göstərilmişdir.



Burada rəng və vertical ox quyu stvolunun dərinliyindən (başqa sözlə trubanın uzunluğu üzrə) və axın mərkəzindən məyyən məsafədə temperature xarakterizə edir. Modelləşmənin nəticəsində axın tempindən asılı olaraq, məzi axının temperaturu kənarlara nəzərən 2-4 °C çox ola bilər. Belə ki, şəkildə trubanın radius təqribən 6 cm-dir, qrafikin ən yüksək yerində temperaturu DTS profili xarakterizə edir.

Parafin-asfaltenli hissəciklərin proqnozu təqiq təyin olunmadan asılıdır və öz növbəsində bütün fazaların dayanıqsızlıq halının hesablanmasından asılıdır. Belə ki, maye və qazın

dayanıqsızlığı Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC - SAFT) medilindən istifadə etməklə hesablanır bərk fazanın dayanıqsızlığı isə dayanıqsızlığın əmsalı tənliyi ilə hesablanır, PC-SAFT-ın əsas parametrləri (m , σ və ϵ/k) və isə dayanıqsızlığın əmsalı tənliyi (Δh_i^f , ΔC_{pi} and T_i^f) Parafin-asfaltenli hissəciklərin eksperimental qiymətlərinə uyğun gəlir.

Qradient düşgüsünün optimallaşdırma alqoritmi kalibrasiya prosedurasının avtomatlaşdırılmasında istifadə edilmişdir. Optimallaşdırma alqoritminin ümumi tənliyinin forması aşağıda verilmişdir:

$$x_{n+1} = x_n - \nabla F(x_n)$$

Hardaki, F - Parafin-Asfalten birləşmələrinin proqnozunun qalıq cəm kbratlarını və x isə uyğunlaşdırma parametrini ifadə edir (məsələn, m , σ , ϵ/k , Δh_i^f , ΔC_{pi} və T_i^f).

4 Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, Impact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərilməlidir) (*surətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!*)

1. Bu müddət ərzində Elsevier – Journal of Petroleum Science and Engineering jurnalında məsələnin ölçülərinə görə paylanması məlumatlarını istifadə etməklə əmmələgəlmə faktoru, sementlənmə göstəricisi və mütləq keçiricilik kimi parametrlərin modelləşdirilməsi üzrə “Modeling of the cementation factor and hydraulic permeability using Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) measurements” mövzusunda məqalə çap olunmuşdur.

I. S. Shahsenov, G. I. Orujov, 2018, Modeling of the Cementation Factor and Hydraulic Permeability Using Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) Measurements, Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 171, December 2018, Pages 1033-1040.

2. Neftlərin aöir homoloqları olan parafin və asfaltenlərin çökməsinin modelləşdirilməsinə həsr edilmiş ikinci məqalənin üzərində iş gedir və yaxın müddətdə çapa veriləcək:

Wax precipitation modelling using PC-SAFT thermodynamic model.

5 İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər
(burada doldurmalı)

6 Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin

	ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir) (burada doldurulmalı)
7	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa) (burada doldurulmalı)
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurulmalı)
9	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq) Layihə mövzusu ilə əlaqədar olaraq işin yerinə yetirilməsi istiamətində Xəzər Universitetinin, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universtetinin, AMEA Neft - Qaz İnstitutunun, Bakı Ali Neft Məktəbinin və Azərbaycan Neft Mühəndisləri Cəmiyyətinin mütəxəssislərinin iştirakı ilə bir neçə dəyirmi masada diskussiyalar aparılmış və seminarlar keçirilmişdir.
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları Layihə üzrə aşağıdakı avadanlıqlar alınmışdır: 1.Lenovo Workstation – Server Xeon Gold 6154 - 1 ədəd 2. Lenovo ThinkPad 1480 notebooku – 1 ədəd
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr Layihə yetirilməsi zamanı modelləşdirmənin və eksperimentlərin aparılmasının proseduru yerli mütəxəssislər ilə məsləhətləşmələrlə dəqiqləşdirilmişdir. Həmçinin, lay sūxurlarının islanma qabiliyyətinin dəyişməsinin modelləşdirməsinin və bununla əlaqədar olaraq neftlərdə asfaltenlərin çökməsi və onun elektrik müqavimətinə təsiri, həmçinin seçilmiş kerna nümunələrində mineraloji təkibdən asılı olaraq toplanmış neftdə asfaltenlərin çökməsi və onun sūxurun kollektorluq xüsusiyyətinə təsirini qiymətləndirmək üçün aparılacaq eksperimentlərin aparılmasının proseduru uyğun profildə çalışan yerli mütəxəssislər ilə dəqiqləşdirilmişdir.
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr Xarici mütəxəssislər ilə layihə üzrə məsaməli mühitdə neft və qazın iki-fazlı axınının modelləşdirilməsi ilə əlaqədar məsləhətləşmələr aparılmışdır. Xarici həmkarların tövsiyələri ilə məsaməli mühitdə neft və qazın iki-fazlı axınına və ağır neftlərdə asfalten və parafinlərin çökməsinin modelləşdirilməsinə aid bir sıra çap olunmuş elmi məqalələr təhlil edilmiş, aparılacaq eksperimentlər və onların prosedur qaydaları ilə əlaqədar

	disskussiyalar aparılmışdır.
1 3	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa)
	Layihənin icraçısı İzat Şahsenov hal-hazırda Xəzər Universitetinin "Neft və qaz yataqlarının işlənməsi" ixtisası üzrə doktoranturasında (fəlsəfə doktorluğu) təhsil alır.
1 4	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa)
	(burada doldurmalı)
1 5	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa)
	(burada doldurmalı)
1 6	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərməlidir)
	(burada doldurmalı)

SİFARIŞÇI:

Elmin İnkişafı Fondu

Baş məsləhətçi

Quliyeva Mülayim Sahib qızı

(imza)

" __ " _____ 2019-cu il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu

(imza)

" __ " _____ 2019-cu il



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA
ELMİN İNKİŞAFI FONDU

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında
Elmin İnkişafı Fondunun 2015-ci ilin əsas qrant müsabiqəsi
çərçivəsində təqdim olunmuş kompleks elmi-tədqiqat
proqramlarının (EIF-KETPL-2015-1(25)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN ƏMƏLİ (TƏCRÜBİ) HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ
VƏ LAYİHƏNİN NƏTİCƏLƏRİNDƏN GƏLƏCƏK TƏDQİQATLARDA
İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA
MƏLUMAT VƏRƏQİ
(Qaydalar üzrə Əlavə 16)

Layihənin adı: **İslanma qabiliyyətinin dəyişməsinin nəzəri və eksperimental tədqiqi və onun karbohidrogen hasilatına mümkün təsiri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu**

Qrantın məbləği: **250 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/08/1-M-21**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **03 mart 2017-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2017-ci il – 01 aprel 2019-cu il**

1. Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi

1 Layihənin əsas əməli (təcrübi) nəticələri, bu nəticələrin məlum analoqlar ilə müqayisəli xarakteristikası

1. Neftin ağır fraksiyaları kimi asfaltenlərin və parafinlərin fiziki-kimyəvi xassələri və onların hərəkəti təhlil edilmişdir. Həmçinin, neftin tərkibində iştirak edən parafinlərin və asfaltenlərin tökülməsinə təsiri öyrənilmişdir.

Bu təcrübə neftləri çökmüş asfalten fraksiyalarından təmizləmək üçün neft laylarına kimyəvi maddələrin vurulması texnologiyasının tətbiq edilməsinə imkan verir.

2. Riyazi modellərin nəzəri bazasının öyrənilməsi əsasında polimerlərin termodinamik xassələri təhlil edilmişdir.

3. Asfaltların tökülməsi və çökməsinin termodinamik xassələrinin təsiri nöqtəyindən nəzərdən layların islanma qabiliyyətinin dəyişməsi öyrənilmişdir. Nəzərə alsaq ki, rezervuarların neftvermə qabiliyyətinə təsir edən əsas faktor islanma qabiliyyətidir, bu işin hazırkı mərhələsi islanma qabiliyyəti parametrlərinə təsir edən faktorları nəzərdə saxlamağa imkan verir.
4. Süxur nümunələrində müqavimət faktorunun, sementlənmə əmsalının və mütləq keçiriciliyin hesablanması.
Sementlənmə əmsalı süxurun geometrik xarakterini (məsələn, dalğavari quruluş) xarakterizə edən parametrdir. Bu parametri eksperimental olaraq birbaşa almaq çox çətinidir. Civəvurma və Kapilyat Təzyiq Məlumatları (MİCP) əsasında qurulmuş model bu parametri məyyənləşdirməyə imkan verir.
5. Lattice Boltzman Metodu (LBM) modelinin qurulması.
Bu model böyük həcmdə maliyyə və zaman resursları tələb edən eksperimentlərin aparılması əvəzinə nisbi keçiricilik əyrisini modelləşdirməyə imkan vermişdir.
6. Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC – SAFT) termodinamika modelinin qurulması ilə neftin ağır komponentlərinin tökülməsinin proqnozlaşdırılması.
Bu model asfaltların tökülməsi və çökməsi nəticəsində quyularda bloklanma riskinin qarşısını almağa kömək edir.

2

Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi haqqında məlumat (istehsalatda tətbiq (tətbiqin aktını əlavə etməli); tədris və təhsildə (nəşr olunmuş elmi əsərlər və s. – təhsil sistemində tətbiqin aktını əlavə etməli); bağlanmış xarici müqavilələr və ya beynəlxalq layihələr (kimlə bağlanıb, müqavilənin və ya layihənin nömrəsi, adı, tarixi və dəyəri); dövlət proqramlarında (dövlət orqanının adı, qərarın nömrəsi və tarixi); ixtira üçün alınmış patentlərdə (patentin nömrəsi, verilmə tarixi, ixtiranın adı); və digərlərində)

Bu tədqiqat layihəsinin nəticələri neft sənayesində ağır neftli layların və eləcə də yetkinlik dərəcəsi az olan neftli yataqların neftvermə qabiliyyətinin artırılmasında geniş tətbiq edilə bilər.

2. Layihənin nəticələrindən gələcək tədqiqatlarda istifadə perspektivləri

1

Nəticələrin istifadəsi perspektivləri (fundamental, tətbiqi və axtarış-innovasiya yönlü elmi-tədqiqat layihə və proqramlarında; dövlət proqramlarında; dövlət qurumlarının sahə tədqiqat proqramlarında; ixtira və patent üçün verilmiş ərizələrdə; beynəlxalq layihələrdə; və digərlərində)

Layihə çərçivəsində qurulmuş Lattice Boltzman Metodu (LBM) modelinin və Həyacanlandırılmış Şəbəkəli Maye Birləşmələrinin Statistik Nəzəriyyəsi (PC – SAFT) termodinamika modelinin nəticələri təkcə neft sənayesində deyil, fizika və kimya

sahələrində fundamental məsələlərin həllində də istifadə oluna bilər.

SİFARIŞÇI:

Elmin İnkişafı Fondu

Baş məsləhətçi

Quliyeva Mülayim Sahib qızı

(imza)

“ _ ” _____ 2019_-cu il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu

(imza)

“ _ ” _____ 2019-cu il



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında
Elmin İnkişafı Fondunun 2015-ci ilin əsas qrant müsabiqəsi
çərçivəsində təqdim olunmuş kompleks elmi-tədqiqat
proqramlarının (EIF-KETPL-2015-1(25)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə**

**ALINMIŞ ELMİ MƏHSUL HAQQINDA MƏLUMAT
(Qaydalar üzrə Əlavə 17)**

Layihənin adı: **İslanma qabiliyyətinin dəyişməsinin nəzəri və eksperimental tədqiqi və onun karbohidrogen hasilatına mümkün təsiri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu**

Qrantın məbləği: **250 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/08/1-M-21**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **03 mart 2017-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2017-ci il – 01 aprel 2019-cu il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

1. Elmi əsərlər (sayı)

№	Tamlıq dərəcəsi	Dərc olunmuş	Çapa qəbul olunmuş və ya çapda olan	Çapa göndərilmiş
1.	Elmi məhsulun növü			
	Monoqrafiyalar			
	həmçinin, xaricdə çap olunmuş			
2.	Məqalələr			

	həmçinin xarici nəşrlərdə	“Modeling of the Cementation Factor and Hydraulic Permeability Using Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) Measurements” Journal of Petroleum Science and Engineering jurnalında çap olunub		
3.	Konfrans materiallarında məqalələr			
	O cümlədən, beynəlxalq konfrans materiallarında			
4.	Məruzələrin tezisləri			
	həmçinin, beynəlxalq tədbirlərin toplusunda			
5.	Digər (icmal, atlas, kataloq və s.)			

2. İxtira və patentlər (sayı)

Nö	Elmi məhsulun növü	Alınmış	Verilmiş	Ərizəsi verilmiş
1.	Patent, patent almaq üçün ərizə			
2.	İxtira			
3.	Səmərələşdirici təklif			

3. Elmi tədbirlərdə məruzələr (sayı)

Nö	Tədbirin adı (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s.)	Tədbirin kateqoriyası (ölkədaxili, regional, beynəlxalq)	Məruzənin növü (plənar, dəvətli, şifahi, divar)	Sayı

1.	Dəyirmi masa	Olkədaxilil	Plenar və Sifahi	7
2.				
3.				

SİFARIŞÇI:**Elmin İnkişafı Fondu****Baş məsləhətçi****Quliyeva Mülayim Sahib qızı**

(imza)

" _ " _____ 2019-cu il

İCRAÇI:**Layihə rəhbəri****Zeynalov Qəşəm Əziz oğlu**

(imza)

" _ " _____ 2019-cu il