

DOI: <https://doi.org/10.36719/2789-6919/57/222-226>

Ləman Əlizadə

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
<https://orcid.org/0009-0006-4303-6013>
leman.alizadeh03@gmail.com

Ədədi modelləşdirmə üsulları əsasında neft layları arasında hidrodinamik əlaqənin qiymətləndirilməsi və tətbiq perspektivləri

Xülasə

Çoxlaylı neft kollektorlarında laylararası hidrodinamik əlaqənin düzgün qiymətləndirilməsi hasilatın sabilliyi, su basmanın tempi və çıxarıla bilən ehtiyatların həcmi üçün həlledicidir. Məqalədə ədədi modelləşdirmənin bu problemin öyrənilməsində rolu sistemləşdirilir, geoloji və mühəndis məlumatlarının rəqəmsal rezervuar modelinə inteqrasiyası izah olunur və transmissivlik, kommunikasiya əmsalı, təzyiq davranışı, sonlu fərqlər məntiqi və history matching əsasında laylararası əlaqənin necə interpretasiya edildiyi göstərilir. Tədqiqatda həm riyazi düsturlar, həm müqayisəli cədvəllər, həm də qrafik və sxematik təsvir vasitəsilə zəif, orta və güclü hidrodinamik əlaqənin hasilata təsiri şərh olunur. Nəticə olaraq müəyyən edilir ki, ədədi modelləşdirmə yalnız mövcud əlaqəni aşkar etmir, həm də su vurma planlarının hazırlanması, yeni quyuların yerləşdirilməsi, erkən su basmanın qarşısının alınması və EOR layihələrinin əsaslandırılmasına praktik dəstək verir.

***Açar sözlər:** ədədi modelləşdirmə, hidrodinamik əlaqə, neft layları, rezervuar simulyasiyası, transmissivlik, history matching*

Laman Alizadeh

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master's student
<https://orcid.org/0009-0006-4303-6013>
leman.alizadeh03@gmail.com

Evaluation of Hydrodynamic Relationship Between Oil Layers Based on Numerical Modeling Methods and Application Prospects

Abstract

In multilayer oil reservoirs, correct assessment of interlayer hydrodynamic communication is essential for production stability, water breakthrough control, and recoverable reserves. This article systematizes the role of numerical modeling in evaluating such communication and explains how geological and engineering data are integrated into a digital reservoir model. Transmissibility, communication coefficient, pressure behavior, finite-difference logic, and history matching are summarized as key tools for interpretation. Mathematical expressions, comparison tables, a production-pressure graph, and a schematic interlayer-flow model are incorporated to clarify the numerical framework. The study shows that numerical modeling supports not only the detection of communication but also waterflood design, well placement, early water breakthrough prevention, and EOR planning. Reliable digital representation of interlayer interaction therefore improves both technical decisions and economic efficiency in reservoir management.

***Keywords:** numerical modeling, hydrodynamic communication, oil reservoir layers, reservoir simulation, transmissibility, history matching*

Giriş

Müasir neft sənayesində çoxlaylı yataqların idarə olunması yalnız ayrı-ayrı layların xassələrinin öyrənilməsi ilə məhdudlaşmır; laylar arasında baş verən qarşılıqlı təsirin də qiymətləndirilməsi tələb olunur. Bir layda təzyiqin azalması, su vurulması və ya hasilatın intensivləşməsi digər layların hidrodinamik rejimini dəyişdirə bilər. Bu cür təsir düzgün müəyyən edilmədikdə su basma sürətlənir, təzyiq qeyri-bərabər paylanır və texnoloji qərarların dəqiqliyi azalır (Ahmed, 2019; Dake, 2001).

Ənənəvi geoloji və geofiziki üsullar əlaqənin mövcudluğu barədə ilkin təsəvvür yaratsa da, mürəkkəb çoxlaylı sistemlərdə prosesin dinamik mahiyyətini tam açma bilmir. Bu səbəbdən rəqəmsal rezervuar modelləri müasir yataq idarəetməsində əsas alətlərdən birinə çevrilmişdir. Məqalənin məqsədi ədədi modelləşdirmə üsulları ilə laylararası hidrodinamik əlaqənin qiymətləndirilməsini, riyazi əsasını və praktiki tətbiq istiqamətlərini sistemli şəkildə təqdim etməkdir. Bu integrasiya yanaşması mürəkkəb sistemlərin rəqəmsal təsviri üçün əsas nəzəri və praktik baza yaradır (Aziz və Settari, 2002; Peaceman, 2000).

Tədqiqat

Laylararası hidrodinamik əlaqənin mahiyyəti. Çoxlaylı yataqlarda hidrodinamik əlaqə təzyiq impulsunun bir laydan digərinə ötürülməsi və zəif keçirici aralıq qat vasitəsilə faktiki maye-qaz miqrasiyası kimi iki formada təzahür edir. Buna görə də əlaqənin qiymətləndirilməsi yalnız geoloji yaxınlıqla deyil, dinamik reaksiya ilə əsaslandırılmalıdır (Lake, 2014).

Transmissivlik və kommunikasiya əmsalı bu baxımdan əsas göstəricilərdir. Şaquli keçiricilik yüksəldikcə, aralıq qat nazik və təzyiq fərqi böyük olduqda laylararası axın artır; qalın və zəif keçirici maneələr isə əlaqəni zəiflədir. Bu göstəricilər mühəndis interpretasiyasının mərkəzində dayanır (Ertekin və b., 2001).

Ədədi modelləşdirmənin nəzəri bazası və əsas düsturlar. Ədədi hidrodinamik modelləşdirmənin əsasını Darcy qanunu, kütlənin saxlanması qanunu və sonlu fərqlər məntiqi təşkil edir. Aşağıdakı sadələşdirilmiş ifadələr laylararası əlaqənin ədədi təsvirində geniş istifadə olunur. Bu düsturların məntiqi reservoir simulation və təzyiq davranışının ədədi təhlilində geniş istifadə olunur (Ahmed, 2019; Peaceman, 2000; Fanchi, 2018).

$$q_{12} = T_{12} (p_1 - p_2)$$

$$T_{12} = (k_v \cdot A) / (\mu \cdot \Delta z)$$

$$C = T_{12} / T_{ref}$$

$$(p^{n+1}_i - p^n_i) / \Delta t = [T_{i+1/2} (p^{n+1}_{i+1} - p^{n+1}_i) - T_{i-1/2} (p^{n+1}_i - p^{n+1}_{i-1})] / (\phi \cdot c_t \cdot V)$$

$$J = \sum_t [w_q (q_{sim} - q_{obs})^2 + w_p (p_{sim} - p_{obs})^2]$$

Burada q_{12} laylararası axını, T_{12} transmissivliyi, p_1 və p_2 uyğun lay təzyiqlərini, k_v şaquli keçiriciliyi, A əlaqə sahəsini, μ özlülüyü, Δz isə laylararası məsafəni göstərir. Sonlu fərqlər tənliyi grid hüceyrələrində təzyiqin addım-addım hesablanması, history matching isə modelin müşahidə məlumatları ilə kalibrəşdirilməsini ifadə edir. Bu parametrlər modelin kalibrəşdirilməsi və laylararası axının şərh üçün baza rolunu oynayır (Aziz və Settari, 2002; Peaceman, 2000).

Mini hesab nümunəsi: $k_v = 5 \text{ mD}$, $A = 2000 \text{ m}^2$, $\mu = 1.5 \text{ cP}$ və $\Delta z = 10 \text{ m}$ olduqda transmissivlik nisbəti $T_{12} \approx 666.7$ olur. Təzyiq fərqi 30 bar qəbul edilərsə, q_{12} təxminən 20 001 nisbi vahidə çatır. Bu nəticə təzyiq fərqi böyüdükcə laylararası axının kəskin gücləndiyini göstərir. Bu sadə nümunə transmissivlik artdıqca və təzyiq fərqi böyüdükcə laylararası əlaqənin gücləndiyini göstərir (Ahmed, 2019).

Laylararası əlaqənin müəyyən edilmə metodlarının müqayisəsi. Klassik üsullar əlaqənin ilkin qiymətləndirilməsi üçün vacibdir, lakin mürəkkəb sistemlərdə onlar ənənəvi məlumatları rəqəmsal

model ilə birlikdə istifadə etdikdə daha etibarlı nəticə verir. Bu səbəbdən onlar ən çox ədədi modelləşdirmə ilə birgə tətbiq edilir (Ahmed, 2019; Earlougher, 1977; Dake, 2001).

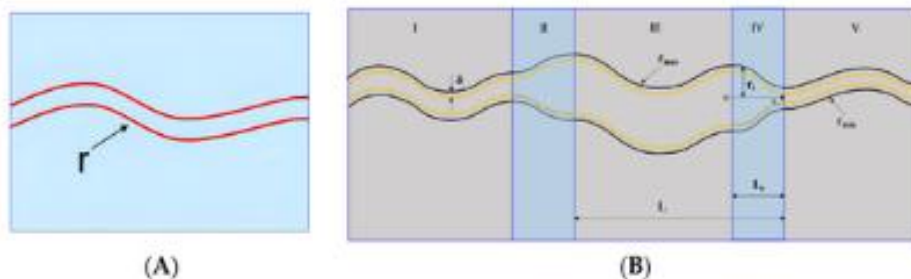
Cədvəl 1.

Laylararası hidrodinamik əlaqənin müəyyən edilmə metodlarının müqayisəsi

Metod	Üstünlüklər	Məhdudiyyətlər	Tətbiq sahəsi
Təzyiq müşahidələri	Davamlı monitoring imkanı; uzunmüddətli məlumat bazası yaradır	Lay heterogenliyi nəticələrə təsir edə bilər; dolayı qiymətləndirmədir	Yatağın ümumi hidrodinamik rejiminin izlənməsi
Quyu sınaqları	Lay keçiriciliyi və hidravlik əlaqə haqqında daha dəqiq məlumat verir	Bahalı və vaxt aparan prosesdir	Ayrı-ayrı quyular üzrə əlaqənin qiymətləndirilməsi
Pressure transient analysis	Riyazi modellər əsasında yüksək dəqiqlik; transmissivlik və kommunikasiya əmsalı hesablanır	Yüksək keyfiyyətli məlumat və peşəkar interpretasiya tələb edir	Kompleks çoxlaylı yataqların təhlili
Tracer üsulu	Laylararası axının istiqaməti və sürəti birbaşa müəyyən edilir	Xərli və texnoloji baxımdan mürəkkəbdir	Laylararası miqراسiyanın sübutu və axın yollarının təyini

Mənbə: Ahmed, T. (2019), Earlougher, R. C. (1977) və Dake, L. P. (2001) əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Diskretləşdirmə və grid əsaslı model. Reservoir simulyasiyası qurularkən geoloji lay minlərlə və ya milyonlarla hüceyrədən ibarət üçölçülü şəbəkəyə bölünür. Hər bir hüceyrəyə məsəməlilik, keçiricilik, qalınlıq, təzyiq və doymuşluq kimi parametrlər təyin edilir. Grid modelinin düzgün qurulması simulyasiya nəticələrinin etibarlılığı üçün həlledici amildir (Aziz və Settari, 2002; Fanchi, 2018).

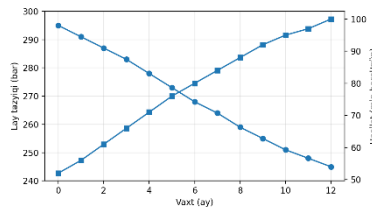


Şəkil 1. Layın diskretləşdirilməsi və grid əsaslı rezervuar modelləşdirmə prinsipi

Mənbə: Aziz, K., & Settari, A. (2002) əsasında hazırlanmışdır.

Hesablamalar, qrafik interpretasiyası və praktiki tətbiq. History matching mərhələsində model nəticələri faktiki hasilat, lay təzyiqi, su kəsimi və quyu sınaqları ilə müqayisə olunur. Şaquli keçiricilik, nisbi keçiricilik əyriləri, sərhəd şərtləri və laylararası əlaqə parametrləri tənzimlənərək model real yataq davranışına maksimum yaxınlaşdırılır. Bu mərhələdə qrafik interpretasiya mühüm

rol oynayır: əgər hasilat artdıqca təzyiqlə azalması nisbətən stabil və idarəolunan qalırsa, bu, laylararası təzyiqlə dəstəyinin mövcudluğunu göstərə bilər (Earlougher, 1977; Peaceman, 2000).



Qrafik 1. Simulyasiya ssenarisində lay təzyiqlə ilə hasilatın nisbi dinamikası

Mənbə: Ahmed, T. (2019) və Peaceman, D. W. (2000) çərçivəsində qurulmuş nümunəvi simulyasiya məlumatları əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Qrafikdən görüldüyü kimi, hasilat tədricən artdıqca lay təzyiqlə azalır, lakin azalma sürətinin sabit qalması laylararası hidrodinamik əlaqə nəticəsində təzyiqlə dəstəyinin mövcudluğunu ehtimal etməyə imkan verir. Bu cür qrafiklər su vurma proqramlarının seçilməsi və erkən su basma riskinin qiymətləndirilməsi üçün praktik əhəmiyyət daşıyır.

Cədvəl 2.

Ədədi hidrodinamik modelləşdirmənin tətbiq sahələri və əsas faydaları

Tətbiq sahəsi	Təsviri	Əsas faydalar
Hasilatın optimallaşdırılması	Müxtəlif işlənmə ssenarilərinin simulyasiyası və ən effektiv rejimin seçilməsi	Hasilatın stabilləşdirilməsi, neftverimin artırılması, iqtisadi səmərəlilik
Su vurma planının hazırlanması	Laylararası axınların və təzyiqlə paylanmasının modelləşdirilməsi	Erkən su basmanın azaldılması, təzyiqlə effektiv saxlanması, investisiya riskinin azalması, əlavə ehtiyatların cəlb edilməsi
Quyuların yerləşdirilməsi	Yeni quyular üçün optimal zonaların müəyyən edilməsi	Neftverimin artırılması, yatağın istismar müddətinin uzadılması
EOR layihələrinin planlaşdırılması	Su, qaz və kimyəvi üsulların əvvəlcədən simulyasiyası	Təzyiqlə balansının qorunması, hasilatın stabilləşdirilməsi

Mənbə: Ahmed, T. (2019), Dake, L. P. (2001), Cosentino, L. (2001) və Green, D. W., & Willhite, G. P. (1998) əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Nəticə

Praktik baxımdan ədədi modelləşdirmənin dörd əsas üstünlüyü seçilir: hasilat ssenarilərinin müqayisəsi, su vurma proqramlarının qabaqlayıcı planlaşdırılması, yeni quyuların optimal yerləşdirilməsi və EOR layihələrinin risklərinin əvvəlcədən qiymətləndirilməsi. Azərbaycan

yataqlarında, xüsusilə Abşeron və Xəzər hövzəsi üzrə çoxlaylı və heterogen kollektorlar üçün bu yanaşma texnoloji qərarların dəqiqliyini artırır (Cosentino, 2001; Green və Willhite, 1998).

Zəif keçirici aralıq qat vasitəsilə əlaqənin sxematik modeli. İki üfüqi yerləşmiş I və II lay zəif keçiriciliyə malik aralıq qat vasitəsilə ayrıldıqda, II laydan I laya doğru maye süzülməsi nəticəsində hidrodinamik əlaqə formalaşa bilər. Bu halda I lay üçün sərhəd şərti aralıq qatın keçiriciliyi, qalınlığı və iki lay arasındakı təzyiq fərqi ilə müəyyən edilir. Belə sxematik model laylararası peretokun interpretasiyası və modelləşdirmə sərhəd şərtlərinin qurulması üçün faydalıdır. Bu sxem laylararası axının sərhəd şərti kimi necə qurulduğunu nümayiş etdirir (Dake, 2001; Aziz və Settari, 2002).



Şəkil 2. Zəif keçirici aralıq qat vasitəsilə iki üfüqi lay arasında hidrodinamik əlaqənin sxematik modeli

Mənbə: Dake, L. P. (2001) və Aziz, K., & Settari, A. (2002) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Ədəbiyyat

1. Ahmed, T. (2019). *Reservoir Engineering Handbook*. Gulf Professional Publishing.
2. Aziz, K., & Settari, A. (2002). *Petroleum Reservoir Simulation*. Applied Science Publishers.
3. Blunt, M.J. (2017). *Multiphase Flow in Permeable Media: A Pore-Scale Perspective*. Cambridge University Press.
4. Cosentino, L. (2001). *Integrated Reservoir Studies*. Editions Technip.
5. Craft, B. C., Hawkins, M., & Terry, R. (1991). *Applied Petroleum Reservoir Engineering*. Prentice Hall.
6. Dake, L.P. (2001). *Fundamentals of Reservoir Engineering*. Elsevier.
7. Earlougher, R.C. (1977). *Advances in Well Test Analysis*. SPE Monograph Series.
8. Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., & King, G. R. (2001). *Basic Applied Reservoir Simulation*. SPE Textbook Series.
9. Ezekwe, N. (2010). *Petroleum Reservoir Engineering Practice*. Pearson.
10. Fanchi, J.R. (2018). *Principles of Applied Reservoir Simulation*. Elsevier.
11. Green, D.W., & Willhite, G.P. (1998). *Enhanced Oil Recovery*. Society of Petroleum Engineers.
12. Horne, R.N. (1995). *Modern Well Test Analysis*. Petroway Inc.
13. Lake, L.W. (2014). *Enhanced Oil Recovery*. Society of Petroleum Engineers.
14. Mattax, C.C., & Dalton, R.L. (1990). *Reservoir Simulation*. SPE Monograph Series.
15. Muskat, M. (1982). *The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media*. McGraw-Hill.
16. Peaceman, D.W. (2000). *Fundamentals of Numerical Reservoir Simulation*. Elsevier.
17. Tiab, D., & Donaldson, E.C. (2015). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Gulf Professional Publishing.
18. Willhite, G.P. (1986). *Waterflooding*. Society of Petroleum Engineers.

Daxil oldu: 01.01.2026

Qəbul edildi: 10.04.2026