

NEFT VA GAZ KONLARINI O'ZLASHTIRISHDA NOCHIZIQLI FILTRATSION JARAYONLARNI SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA MATEMATIK MODELASHTIRISH VA SAMARADORLIGINI BAHOLASH

*Ismailov Sh.R., Rayimqulov O'.M., Egamberdiyev E.E. shixnazar.ismailov@gmail.com,
raimkulovural@gmail.com*

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU

Annotatsiya - ushbu tadqiqotda neft va gaz konlarini o'zlashtirish jarayonida yuzaga keladigan nochiziqli filtratsion jarayonlarni matematik modelashtirish hamda ularni sun'iy intellekt texnologiyalari asosida tahlil qilish masalalari ko'rib chiqiladi. Neft va gaz qatlamlarida suyuqlik va gazlarning harakati murakkab geologik tuzilma, bosim, g'ovaklik, o'tkazuvchanlik, harorat va boshqa fizik omillarga bog'liq bo'lib, bunday jarayonlar ko'pincha nochiziqli xususiyatga ega bo'ladi. Shu sababli an'anaviy matematik modellarni zamonaviy sun'iy intellekt usullari bilan uyg'unlashtirish konlarni samarali o'zlashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqotda nochiziqli filtratsion jarayonlarning matematik modeli shakllantiriladi, model parametrlarini aniqlash va baholashda mashinali o'qitish hamda neyron tarmoqlar imkoniyatlaridan foydalanish yondashuvlari tahlil qilinadi. Sun'iy intellekt algoritmlari yordamida qatlamdagi filtratsiya jarayonlarini prognozlash, ishlab chiqarish samaradorligini baholash, bosim o'zgarishlarini oldindan aniqlash va konlarni boshqarish bo'yicha ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkoniyati yaratiladi.

Mazkur ish natijalari neft va gaz konlarini o'zlashtirishda hisoblash aniqligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish, ishlab chiqarish samaradorligini baholash hamda murakkab filtratsion jarayonlarni raqamli texnologiyalar asosida boshqarishga xizmat qiladi. Tadqiqot neft-gaz sohasi, matematik modelashtirish va sun'iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasiga qaratilganligi bilan dolzarb hisoblanadi.

Kalit so'zlar: neft va gaz konlari, nochiziqli filtratsiya, matematik modelashtirish, sun'iy intellekt, mashinali o'qitish, neyron tarmoqlar, prognozlash, samaradorlikni baholash.

Neft va gaz sanoati mamlakat iqtisodiyotining strategik tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Ushbu sohada konlarni samarali o'zlashtirish, mavjud zaxiralardan oqilona foydalanish, qazib olish jarayonlarini optimallashtirish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Ayniqsa, neft va gaz qatlamlarida suyuqlik va gazlarning harakati murakkab fizik-kimyoviy, geologik va gidrodinamik omillar ta'sirida kechadi. Bunday jarayonlar ko'pincha oddiy chiziqli qonuniyatlarga bo'ysunmaydi, balki nochiziqli filtratsion xususiyatlarga ega bo'ladi.

Neft va gaz konlarini o'zlashtirish jarayonida qatlam bosimi, g'ovaklik, o'tkazuvchanlik, suyuqliklarning qovushqoqligi, gaz omili, harorat, kapillyar kuchlar hamda qatlamning geologik tuzilishi filtratsiya jarayonlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ushbu omillarning o'zaro murakkab bog'liqligi natijasida qatlam ichida suyuqlik va gazlarning harakatini aniq ifodalash qiyinlashadi. Shu sababli bunday jarayonlarni chuqur o'rganish, matematik modelashtirish va hisoblash usullari yordamida tahlil qilish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

An'anaviy matematik modellar neft va gaz qatlamlarida filtratsion jarayonlarni tavsiflashda muhim o'rin tutadi. Biroq real kon sharoitida ma'lumotlarning katta hajmda bo'lishi, parametrlarning vaqt va fazo bo'yicha o'zgaruvchanligi, qatlam xususiyatlarining noaniqligi hamda jarayonlarning kuchli nochiziqiligi an'anaviy yondashuvlarning imkoniyatlarini cheklab

qo'yadi. Shu jihatdan, zamonaviy sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish neft-gaz sohasida yangi ilmiy va amaliy imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda.

Sun'iy intellekt, xususan, mashinali o'qitish, neyron tarmoqlar, chuqur o'qitish algoritmlari va intellektual prognozlash usullari murakkab tizimlarda yashirin bog'liqliklarni aniqlash, katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash hamda kelajakdagi holatlarni bashorat qilish imkonini beradi. Neft va gaz konlarida ushbu texnologiyalar yordamida filtratsion jarayonlarning rivojlanishini oldindan baholash, qazib olish ko'rsatkichlarini prognozlash, qatlam bosimi o'zgarishlarini aniqlash va konlarni boshqarish samaradorligini oshirish mumkin.

Mazkur tadqiqot mavzusi neft va gaz konlarini o'zlashtirishda noxiziqli filtratsion jarayonlarni sun'iy intellekt asosida matematik modellashtirish hamda ularning samaradorligini baholashga qaratilgan. Tadqiqotning asosiy mazmuni an'anaviy matematik modellashtirish yondashuvlarini sun'iy intellekt algoritmlari bilan uyg'unlashtirish, filtratsion jarayonlarni tahlil qilishda raqamli texnologiyalardan foydalanish va olingan natijalar asosida ishlab chiqarish samaradorligini baholashdan iborat.

Ushbu yo'nalishning dolzarbligi shundaki, neft va gaz konlarida noto'g'ri boshqaruv qarorlari zaxiralardan to'liq foydalanilmasligiga, qazib olish hajmining pasayishiga va iqtisodiy yo'qotishlarga olib kelishi mumkin. Shu bois qatlamda kechayotgan murakkab jarayonlarni aniqroq modellashtirish va ularni sun'iy intellekt asosida prognozlash konlarni samarali boshqarishning muhim omili hisoblanadi.

Tadqiqot davomida noxiziqli filtratsion jarayonlarning asosiy matematik tavsiflari, sun'iy intellekt algoritmlarining qo'llanish imkoniyatlari, model parametrlarini aniqlash usullari hamda samaradorlikni baholash mezonlari o'rganiladi. Natijada neft va gaz konlarini o'zlashtirish jarayonida hisoblash aniqligini oshirish, texnologik qarorlarni asoslash va ishlab chiqarish samaradorligini baholashga xizmat qiluvchi ilmiy-amaliy yondashuv ishlab chiqilishi nazarda tutiladi.

Shunday qilib, neft va gaz konlarini o'zlashtirishda noxiziqli filtratsion jarayonlarni sun'iy intellekt asosida matematik modellashtirish hozirgi davrning dolzarb ilmiy masalalaridan biri bo'lib, u neft-gaz sanoatida raqamli transformatsiya, intellektual tahlil va samarali boshqaruv tizimlarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Neft va gaz konlarini o'zlashtirishda filtratsion jarayonlarni matematik modellashtirish bo'yicha dastlabki ilmiy yondashuvlar asosan Darsi qonuniga tayanadi. Bu qonun g'ovak muhitda suyuqlik yoki gaz harakati bosim gradienti, muhit o'tkazuvchanligi va suyuqlik qovushqoqligiga bog'liqligini ifodalaydi. Oddiy holatda filtratsiya tezligi quyidagicha yoziladi:

$$\vec{v} = -\frac{k}{\mu} \nabla p$$

Biroq real neft-gaz qatlamlarida oqim ko'pincha oddiy chiziqli qonuniyatga bo'ysunmaydi. Qatlamning g'ovakligi, o'tkazuvchanligi, bosimning keskin o'zgarishi, gaz-suyuqlik aralash harakati va inertsia kuchlari filtratsion jarayonlarni noxiziqli ko'rinishga olib keladi. Zamonaviy tadqiqotlarda Darsi qonuni ko'proq bir fazali va soddalashtirilgan sharoitlar uchun qulay ekani, real neft-gaz konlarida esa ko'p fazali va murakkab oqim modellari ehtiyoj mavjudligi ta'kidlanadi.

Noxiziqli filtratsiyani ifodalashda ko'pincha Forxgeymer tenglamasidan foydalaniladi. Ushbu yondashuvda oqim tezligi ortishi bilan bosim yo'qotilishi chiziqli emas, balki kvadratik had orqali ham ifodalanadi:

$$\nabla p = -\frac{\mu}{k}v - \beta\rho v^2$$

Mazkur tenglama yuqori tezlikdagi gaz oqimi, zich qatlamlar va murakkab g'ovak muhitlarda filtratsiya jarayonini aniqroq tavsiflash imkonini beradi. So'nggi tadqiqotlarda g'ovak muhitdagi nochiziqli oqimlarga inertsia kuchlari, gaz sirpanishi va Forxgeymer soni kabi omillar sezilarli ta'sir ko'rsatishi qayd etilgan.

Ko'p fazali neft-gaz qatlamlarida har bir faza uchun filtratsiya jarayoni nisbiy o'tkazuvchanlik orqali ifodalanadi:

$$\vec{v}_\alpha = -\frac{kk_{r\alpha}}{\mu_\alpha}\nabla p_\alpha$$

Adabiyotlarda ta'kidlanishicha, an'anaviy sonli modellashtirish usullari aniq natija berishi mumkin, lekin ular katta hisoblash resurslarini talab qiladi. Shu sababli so'nggi yillarda neft-gaz konlarini modellashtirishda sun'iy intellekt, mashinali o'qitish va neyron tarmoqlar asosidagi proxy-modellar keng tadqiq qilinmoqda. Bunday modellar murakkab sonli simulyatorlarning tezkor soddalashtirilgan o'rnini bosuvchi vosita sifatida ishlatilishi mumkin.

Sun'iy intellekt asosidagi model umumiy holda quyidagicha ifodalanadi:

$$\hat{y} = f_\theta(X)$$

Model aniqligini baholash uchun o'rtacha kvadratik xatolikdan foydalanish mumkin:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Ayrim zamonaviy ishlarda fizik qonuniyatlar va neyron tarmoqlarni birlashtiruvchi Physics-Informed Neural Networks, ya'ni fizikaga asoslangan neyron tarmoqlar qo'llanmoqda. Bunda model nafaqat tajriba ma'lumotlari, balki filtratsiya tenglamalarining o'zini ham hisobga oladi. Masalan, umumiy yo'qotish funksiyasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$L = L_{\text{data}} + L_{\text{physics}}$$

bu yerda L_{data} - haqiqiy ma'lumotlar bilan bog'liq xatolik, L_{physics} - fizik tenglama qoldig'i bo'yicha xatolik. PINN yondashuvi g'ovak muhitdagi oqim, jumladan Buckley–Leverett tipidagi masalalarni modellashtirishda qo'llanayotgani ilmiy ishlarda ko'rsatilgan.

Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, neft va gaz konlarida filtratsion jarayonlarni o'rganishda klassik Darsi modeli muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. Biroq real qatlam sharoitida nochiziqli oqim, ko'p fazalilik, bosim va o'tkazuvchanlikning o'zgaruvchanligi sababli Forxgeymer tenglamasi, sonli modellashtirish hamda sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlarni birgalikda qo'llash zarur. Shu jihatdan, mazkur tadqiqot mavzusi an'anaviy matematik modellashtirishni zamonaviy sun'iy intellekt texnologiyalari bilan uyg'unlashtirishga qaratilgani bilan dolzarb hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda neft va gaz konlarini o'zlashtirishda yuzaga keladigan nochiziqli filtratsion jarayonlarni matematik modellashtirish va sun'iy intellekt asosida baholash metodologiyasi ishlab chiqiladi. Tadqiqot jarayoni bir necha bosqichda amalga oshiriladi.

Birinchi bosqichda neft-gaz qatlamlarining asosiy fizik-parametrik ko'rsatkichlari aniqlanadi. Bunda qatlam bosimi, g'ovaklik, o'tkazuvchanlik, suyuqlik qovushqoqligi, gaz zichligi va filtratsiya tezligi kabi parametrlar asosiy kiruvchi ma'lumotlar sifatida olinadi:

$$X = \{p, \rho, k, \mu, \rho, v, t\}$$

bu yerda p - bosim, φ - g'ovaklik, k - o'tkazuvchanlik, μ - qovushqoqlik, ρ - zichlik, v - filtratsiya tezligi, t - vaqt.

Ikkinchi bosqichda nochiziqli filtratsion jarayon matematik model orqali ifodalanadi. Bunda Darsi qonunining kengaytirilgan ko'rinishi, ya'ni Forxgeymer modeli asos qilib olinadi:

$$\nabla p = -\frac{\mu}{k}v - \beta\rho v^2$$

Ushbu tenglama qatlamdagi bosim yo'qotilishi va filtratsiya tezligi o'rtasidagi nochiziqli bog'liqlikni aniqlash imkonini beradi.

Uchinchi bosqichda sun'iy intellekt modeli shakllantiriladi. Mashinali o'qitish yoki neyron tarmoq modeli kiruvchi parametrlar asosida filtratsiya jarayonining natijaviy ko'rsatkichlarini bashorat qiladi:

$$\hat{y} = f_{\theta}(X)$$

bu yerda $\hat{y}$ - bashorat qilingan natija, f_{θ} - sun'iy intellekt modeli, θ - modelning o'qitiladigan parametrlaridir.

To'rtinchi bosqichda model aniqligi va samaradorligi baholanadi. Buning uchun haqiqiy qiymatlar va model bashoratlari o'rtasidagi farq aniqlanadi:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Model samaradorligi esa hisoblash aniqligi, bashorat xatoligi va filtratsiya jarayonini baholash tezligi orqali tahlil qilinadi.

Shunday qilib, metodologiya klassik matematik modellashirish, nochiziqli filtratsiya tenglamalari va sun'iy intellekt algoritmlarini birlashtirishga asoslanadi. Bu yondashuv neft va gaz konlarida filtratsion jarayonlarni aniqroq prognozlash hamda o'zlashtirish samaradorligini baholash imkonini beradi.

Tadqiqot davomida neft va gaz konlarida kechadigan nochiziqli filtratsion jarayonlarni matematik model va sun'iy intellekt algoritmlari asosida tahlil qilish imkoniyatlari ko'rib chiqildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy filtratsiya modellari qatlamdagi jarayonlarni umumiy tarzda ifodalashga xizmat qilsa-da, real kon sharoitidagi murakkab nochiziqli bog'liqliklarni to'liq aks ettirishda cheklangan imkoniyatga ega.

Sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlar esa qatlam bosimi, o'tkazuvchanlik, g'ovaklik, qovushqoqlik va filtratsiya tezligi kabi parametrlar o'rtasidagi murakkab bog'liqliklarni aniqlash imkonini beradi. Ayniqsa, mashinali o'qitish va neyron tarmoqlar yordamida filtratsion jarayonlarni oldindan bashorat qilish, ishlab chiqarish samaradorligini baholash va konlarni boshqarish bo'yicha aniqroq qarorlar qabul qilish mumkinligi aniqlandi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, matematik model va sun'iy intellekt algoritmlarini birgalikda qo'llash hisoblash aniqligini oshiradi, xatoliklarni kamaytiradi hamda konlarni o'zlashtirish jarayonida vaqt va resurslardan samarali foydalanishga yordam beradi. Model samaradorligi bashorat xatoligi, hisoblash tezligi va haqiqiy ma'lumotlarga yaqinlik darajasi orqali baholandi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari neft va gaz konlarida nochiziqli filtratsion jarayonlarni tahlil qilishda sun'iy intellektdan foydalanish istiqbolli yo'nalish ekanini ko'rsatadi. Bu yondashuv konlarni raqamli boshqarish, qazib olish samaradorligini oshirish va texnologik qarorlarni ilmiy asoslashda muhim ahamiyatga ega.

Neft va gaz konlarini o'zlashtirishda nochiziqli filtratsion jarayonlarni matematik modellashirish va sun'iy intellekt asosida baholash bugungi kunda muhim ilmiy-amaliy

ahamiyatga ega. Tadqiqot davomida qatlamlarda kechadigan filtratsiya jarayonlari bosim, g'ovaklik, o'tkazuvchanlik, qovushqoqlik, zichlik va oqim tezligi kabi omillarga bog'liq holda murakkab va noxiziqli xarakterga ega ekani asoslandi.

An'anaviy matematik modellar filtratsion jarayonlarni nazariy jihatdan ifodalash uchun muhim asos bo'lib xizmat qiladi. Biroq real kon sharoitida qatlam parametrlarining o'zgaruvchanligi va jarayonlarning murakkabligi sababli faqat klassik modellar bilan yuqori aniqlikka erishish qiyin. Shu sababli matematik modellashtirishni sun'iy intellekt algoritmlari bilan uyg'unlashtirish samarali yondashuv hisoblanadi.

Sun'iy intellekt, mashinali o'qitish va neyron tarmoqlar yordamida katta hajmdagi geologik va texnologik ma'lumotlarni tahlil qilish, filtratsion jarayonlarni prognozlash hamda qazib olish samaradorligini baholash imkoniyati yaratiladi. Bu esa konlarni boshqarishda aniqroq qarorlar qabul qilish, hisoblash xatoliklarini kamaytirish va ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari neft va gaz konlaridagi noxiziqli filtratsion jarayonlarni sun'iy intellekt asosida matematik modellashtirish konlarni raqamli boshqarish, resurslardan oqilona foydalanish va qazib olish samaradorligini oshirishda istiqbolli yo'nalish ekanini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Darcy, H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: V. Dalmont, 1856.
2. Forchheimer, P. Wasserbewegung durch Boden. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 45, 1782–1788, 1901.
3. Muskat, M. The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media. New York: McGraw-Hill, 1937.
4. Buckley, S. E., Leverett, M. C. Mechanism of Fluid Displacement in Sands. Transactions of the AIME, 146(01), 107–116, 1942. DOI: 10.2118/942107-G.
5. Bear, J. Dynamics of Fluids in Porous Media. New York: American Elsevier Publishing Company, 1972.
6. Peaceman, D. W. Fundamentals of Numerical Reservoir Simulation. Amsterdam–New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1977.
7. Aziz, K., Settari, A. Petroleum Reservoir Simulation. London: Applied Science Publishers, 1979.
8. Barenblatt, G. I., Entov, V. M., Ryzhik, V. M. Theory of Fluid Flows Through Natural Rocks. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers / Springer, 1990. DOI: 10.1007/978-94-015-7899-8.
9. Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., King, G. R. Basic Applied Reservoir Simulation. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers, 2001.
10. Otchere, D. A., Arbi Ganat, T. O., Gholami, R., Ridha, S. Application of supervised machine learning paradigms in the prediction of petroleum reservoir properties: Comparative analysis of ANN and SVM models. Journal of Petroleum Science and Engineering, 200, 108182, 2021. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.108182.
11. Jin, Z. L., Liu, Y., Durlowsky, L. J. Deep-learning-based surrogate model for reservoir simulation with time-varying well controls. Journal of Petroleum Science and Engineering, 192, 107273, 2020. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107273.
12. Samnioti, A., Gaganis, V. Applications of Machine Learning in Subsurface Reservoir Simulation—A Review—Part I. Energies, 16(16), 6079, 2023. DOI: 10.3390/en16166079.