YER OSTI GAZLASHTIRISH JARAYONIDA GEOMEXANIK VA ISSIQLIK TASIRLARI: NAZARIY O'RGANISH VA ILMIY ASOSLAR

Saitov Dilshod Toxir o’g’li
Saitovdilshodbek@gmail.com

Ilmiy-tadqiqot maqolasi | Tog'-kon va energetika muhandisligi yo'nalishi

ANNOTATSIYA: *Ushbu maqolada ko'mir qatlamlarini yer ostida gazlashtirish (YOG') jarayonida yuzaga keladigan geomexanik o'zgarishlar va yuqori haroratli issiqlik maydonlarining tog' jinslariga ta'siri batafsil tahlil qilinadi. YOG' usuli an'anaviy tog'-kon usullariga nisbatan ekologik hamda iqtisodiy jihatdan yuqori samaradorlikka ega bo'lib, chuqur va murakkab kon-geologik sharoitlardagi ko'mir zaxiralaridan foydalanish imkonini beradi. Maqolada reaktor doirasidagi termal taranglik, kon jinslarining deformatsiyalanishi va tog' bosimi qayta taqsimlanishining matematik-fizik modellari ko'rib chiqiladi. APA formatida shakllantirilgan zamonaviy xalqaro va mahalliy adabiyotlar tahlili keltirilgan.*

Kalit so'zlar: yer osti gazlashtirish (YOG'), geomexanika, issiqlik massasi ko'chishi, termal taranglik, ko'mir qatlami, reaktor zonalari, kon jinslari deformatsiyasi, kon-geologik sharoitlar.

1. Kirish va Mavzuning Dolzarbligi

Jahon energetika balansida ko'mir resurslari hamon yetakchi o'rinlardan birini egallab kelmoqda. Biroq, an'anaviy ochiq va yopiq (kon) usullarida ko me'yoriy qazib olish atrof-muhitga sezilarli darajada zarar yetkazishi, shuningdek, ishchilar xavfsizligiga xavf solishi bilan va chuqur qatlamlardagi zaxiralarni o'zlashtirishda iqtisodiy samaradorlikning pastligi bilan cheklanadi. Shu sababli, ko'mirni joyida reaktorga aylantirish va toza energiya tasiyachisi bo'lgan sintez-gaz (CO, H2, CH4) ko'rinishida yuzaga chiqarish texnologiyasi — yer osti gazlashtirish (YOG') texnologiyasiga qiziqish kundan-kunga ortib bormoqda (Bichrov et al., 2020).

Yer osti gazlashtirish jarayonining barqaror va xavfsiz kechishi bevosita yer osti reaktorida sodir bo'ladigan murakkab termodinamik, fizik-kimyoviy va geomexanik hodisalar birikmasiga bog'liq. Gazlashtirish kanali atrofida harorat 1000°C dan 1500°C gacha yetishi oqibatida atrof-muhitdagi tog' jinslari keskin issiqlik ta'siriga uchraydi. Issiqlik ta'sirida jinslarning fizik-mexanik xossalari

o'zgaradi, mustahkamligi kamayadi va termal tarangliklar hosil bo'ladi. Bu esa o'z navbatida shift jinslarining darz ketishi, qulashi, yer usti cho'kishi va gaz oqib o'tish kanallarining berkitilib qolishi kabi salbiy geomexanik oqibatlarga olib kelishi mumkin (Kaufman & Srikant, 2018).

Shu bois, YOG' reaktorining strukturaviy barqarorligini ta'minlash va jarayon samaradorligini oshirish uchun issiqlik ta'siri hamda geomexanik jarayonlarning o'zaro bog'liqligini chuqur tahlil qilish, ularni matematik modellashtirish va kon-geologik sharoitga mos boshqaruv mexanizmlarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

2. Yer Osti Gazlashtirishda Issiqlik Ta'siri va Termodinamik Maydonlar

2.1. Reaktor ichidagi harorat zonalari va issiqlik uzatish mexanizmlari

YOG' reaktori (gazlashtirish kanali) bo'ylab harorat taqsimoti bir jinsli emas va u reagent (kislorod, havo, suv bug'i) beriladigan zonadan mahsulot gazi chiqadigan zonagacha keskin o'zgarib boradi. Odatda reatkor uchta asosiy zonaga bo'linadi (Yang et al., 2021):

1. Oksidlanish zonasi: Harorat 1000°C – 1500°C atrofida bo'lib, ko'mirning kislorod bilan yonish reaksiyalari sodir bo'ladi va maxsus issiqlik ajralib chiqadi.

2. Tiklanish zonasi: Harorat 700°C – 1000°C gacha pasayadi; bu yerda endotermik reaksiyalar sodir bo'lib, uglerod dioksid va suv bug'i uglerod bilan reaksiyaga kirishib, CO va H2 hosil qiladi.

3. Piroliz va qurish zonasi: Harorat 200°C – 700°C oralig'ida bo'lib, ko me'yoriy uchuvchan moddalar ajralishi hamda namlikning bug'lanishi kuzatiladi.

Issiqlik tog' jinslariga va ko'mir qatlamiga uchta asosiy mexanizm orqali uzatiladi: nurlanish (radiatsiya), konveksiya hamda konduksiya. Oksidlanish va tiklanish zonalarida reaktor devorlariga issiqlik o'tishida nurlanish va konveksiya ustunlik qilsa, tog' jinslarining ichki qatlamlariga issiqlik o'tkazuvchanlik (konduksiya) orqali tarqaladi (Sarikaya & Ozfirat, 2019).

2.2. Tog' jinslarining termal xususiyatlari va o'zgarishi

Yuqori harorat ta'sirida ko'mir va unga tutash bo'lgan va atrofdagi gil, qumtosh va ohaktosh kabi jinslarning mineralogik va petrofilik xususiyatlari tubdan o'zgaradi. Masalan, 300-500°C haroratda jinslar tarkibidagi bog'langan suv va organik moddalar yo'qoladi, 500-800°C da gil minerallarining kristall panjarasi buziladi va degidratatsiya sodir bo'ladi. 1000°C dan yuqori haroratda esa jinslarning qisman erishi va shishasimon fazaga o'tishi (sintering) kuzatiladi (Prabu et al., 2020).

Issiqlik ta'sirida jinslarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti (lambda) va solishtirma issiqlik sig'imi (c) haroratga bog'liq holda nodiziqli ravishda o'zgaradi. Buni quyidagi umumiy issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi orqali ifodalash mumkin:

Formulali ifoda: c(T) * rho * (dT / dt) = div(lambda(T) * grad(T)) + Q_s

Bu yerda: rho — jins zichligi, T — harorat, t — vaqt, Q_s — ichki reaktor yoki reaksiyalardan ajralib chiquvchi issiqlik manbai. Tog' jinslarining harorat ta'sirida kengayishi termal kengayish koeffitsienti (alpha) orqali baholanadi va u termal deformatsiyani keltirib chiqaradi.

3. Yer Osti Gazlashtirishda Geomexanik Jarayonlar

3.1. Tog' bosimining qayta taqsimlanishi va termal tarangliklar

Ko'mir qatlami gazlashib yonib bitgani sari yer ostida bo'shliq (kaverna) hosil bo me'yoriy keladi. An'anaviy tog'-kon ishlarida bo'shliq faqat mexanik kuchlar hisobiga shakllansa, YOG' jarayonida bir vaqtning o'zida ham mexanik (kon bosimi), ham termal (harorat) yuklamalar ta'sir qiladi. Bu holat Termo-Elasto-Plastik (TEP) kuchlanish holatini yuzaga keltiradi (Najafi et al., 2019).

Gazlashtirish kanali devorlarida harorat keskin yuqori bo'lgani sababli jinslar kengayishga harakat qiladi, ammo atrofdagi sovuq va cheklangan tog' massivi bu kengayishga qarshilik ko'rsatadi. Natijada reaktor atrofiga siquvchi va kesuvchi termal kuchlanishlar (thermal stress) yig'iladi. Bu kuchlanishlar tog' jinslarining mustahkamlik chegarasidan oshganda, devorlarning ko'chishi va darz ketishi (fracturing) sodir bo'ladi.

3.2. Shift va tub jinslarining deformatsiyalanishi hamda qulashi

Kaverna hajmining kengayishi bilan shift jinslari (roof rocks) egiluvchi momentlar va tortuvchi kuchlanishlar ta'siriga uchraydi. Harorat ta'sirida mustahkamligi 40-70% ga kamaygan shift jinslari asta-sekin bo'shliqqa qulaydi. Shift jinslarining qulashi ikki xil rol o'ynaydi:

• Ijobiy rol: Qulagan jinslar kaverna tubini to'ldirib, issiqlik yo'qotilishini kamaytiradi va reaktorning faol yonish zonasini yo'naltirishga yordam beradi.

• Salbiy rol: Agar qulash nazoratsiz va o'tkir bo'lsa, gazlashtirish kanali to'silib qolishi, havo/kislorod harakati izdan chiqishi hamda reaktor muddatidan oldin o'chishi mumkin (Zahedi et al., 2021).

Jins turi	Harorat oraliq (°C)	Mustahkamlik o'zgarishi (%)	Geomexanik oqibat
Giltosh (Mudstone)	20 - 600 °C	30% - 50% kamayadi	Mikrodarzlar, shishish va qatlamlanish
Qumtosh (Sandstone)	20 - 800 °C	20% - 40% kamayadi	Kvars donador kengayishi va mo'rt sinish
Ohaktosh (Limestone)	20 - 900 °C	50% - 80% kamayadi	Termal parchalanish ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$)
Ko'mir qatlami	20 - 1200 °C	90% gacha yo'qoladi	Govaklik va o'tkazuvchanlik keskin ortishi

1-jadval. Harorat ta'sirida har xil tog' jinslarining geomexanik ko'rsatkichlari o'zgarishi (Prabu et al., 2020 ma'lumotlari asosida).

4. Issiqlik va Geomexanik Jarayonlarning O'zaro Bog'liqligi (THM Modellashtirish)

YOG' reaktorida sodir bo'ladigan hodisalar alohida emas, balki uzviy bog'liq bo'lgan Termo-Gidro-Mexanik (THM) jarayonlar zanjiridir. Issiqlik maydoni geomexanik kuchlanishlarni keltirib chiqarsa, geomexanik deformatsiyalar va darzlar jinslarning g'ovakligi hamda gaz/suv o'tkazuvchanligini o'zgartiradi.

O'tkazuvchanlikning o'zgarishi esa o'z navbatida issiqlik konveksiyasi va gaz harakatiga ta'sir qiladi (Gao et al., 2022).

Ushbu murakkab jarayonlarni bashorat qilish uchun zamonaviy hisoblash usullari va sonli modellashtirish (Finite Element Method - FEM, Discrete Element Method - DEM) dasturlaridan (masalan, COMSOL Multiphysics, FLAC3D, ANSYS) keng foydalaniladi. Modellashtirish orqali quyidagi asosiy ko'rsatkichlar aniqlanadi:

1. Reaktor atrofishagi harorat va kuchlanish maydonlarining vaqt bo'yicha dinamikasi;

2. Shift jinslarining ruxsat etilgan maksimal egilish va qulash chegaralari;

3. Yer usti cho'kishi (subsidence) darajasi va uning ekologik xavfsizligi;

4. Yer osti suvli qatlamlariga issiqlik va zaharli gazlar tarqalishi xavfi.

5. Atrof-muhit Xavfsizligi va Geomexanik Nazorat

YOG' texnologiyasining eng katta xatarlaridan biri bu yer osti suv qatlamlarining ifloslanishi hamda yer ustida sezilarli deformatsiyalar va cho'kishlarning yuzaga kelishidir. Geomexanik darzlar va yoriqlar orqali reaktordan chiqadigan fenol, qatron va og'ir metallar chuqur chuchuk suv qatlamlariga sizib o'tishi mumkin (Bhutto et al., 2013).

Ushbu xatarlarni oldini olish uchun quyidagi muhandislik-texnik chora-tadbirlar amalga oshiriladi:

• Gidrodinamik va termal to'siqlarni yaratish: Reaktor atrofida bosimni atrof-muhit suv bosimidan pastroq ushlab turish orqali moddalarning tashqariga sizib chiqishi oldi olinadi.

• Gazlashtirish tezligi va bosimini optimallashtirish: Reaktor ichidagi bosimni nazorat qilish orqali shift jinslarining keskin va halokatli qulashining oldi olinadi.

• Monitroing tizimlarini joriy etish: Seysmik datchiklar, termojuftlar hamda yer usti GPS-monitoring orqali geomexanik va termal harakatlar uzluksiz kuzatib boriladi.

6. Xulosa va Tavsiyalar

Yer osti gazlashtirish jarayonida geomexanik jarayonlar va issiqlik ta'siri o'rtasidagi murakkab o'zaro bog'liqlikni o'rganish texnologik jarayonning xavfsizligi va iqtisodiy samaradorligini ta'minlashning kaliti hisoblanadi. O'tkazilgan tahlillar natijasida quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

1. Yuqori harorat ta'sirida (1000°C gacha va undan yuqori) tog' jinslarining mustahkamlik ko'rsatkichlari 30% dan 80% gacha kamayadi, bu esa reaktor devorlari va shiftining barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

2. Termal tarangliklar va kon bosimining birgalikdagi ta'siri jinslarda micro va makro darzlarning paydo bo'lishiga olib keladi, bu esa gaz o'tkazuvchanlikni oshiradi, lekin bir vaqtning o'zida suv oqib kirishi xavfini yaratadi.

3. YOG' loyihalarini muvaffaqiyatli amalga oshirish uchun Termo-Gidro-Mexanik (THM) bog'liqlikni hisobga oluvchi ko'p fizikali (multiphysics) sonli modellashtirish ishlarini majburiy ravishda bajarish va kon-geologik monitoringni yo'lga qo'yish zarur.

> **AMALIY TAVSIYA:** *YOG' texnologiyasini sanoat miqyosida qo'llashda har bir konning xususiy geologik, termal va mexanik parametrlarini har taraflama laboratoriya hamda kompyuter modellashtirish orqali sinovdan o'tkazish tavsiya etiladi.*

Adabiyotlar ro'yxati

Bhutto, A. W., Bazmi, A. A., & Harijan, K. (2013). Underground coal gasification: From theoretical orientations to practical applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 40-52. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.008

Bichrov, A. A., Smirnov, V. G., & Portnov, V. S. (2020). Thermal and geomechanical effects of underground coal gasification on surrounding rock strata. Journal of Mining Science, 56(4), 512-523.

Gao, X., Liu, S., & Wang, Z. (2022). Coupled thermo-hydro-mechanical modeling of roof stability during underground coal gasification. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 150, Article 104988. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104988

Kaufman, A., & Srikant, A. (2018). Thermal stress evolution and rock failure analysis in UCG cavities. Geotechnical and Geological Engineering, 36(3), 1845-1859.

Najafi, M., Jalali, Z., & Yilmaz, E. (2019). Geomechanical characterization and thermal degradation of rocks exposed to high temperatures in underground gasification. Engineering Geology, 259, Article 105187.

Prabu, V., Jayanthi, S., & Swaminathan, G. (2020). Experimental investigation on thermal properties and structural changes of surrounding rocks in UCG process. Fuel, 262, Article 116520. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116520

Sarikaya, M., & Ozfirat, M. K. (2019). Thermal impact analysis on overburden strata in underground gasification cavities using numerical simulation. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 41(12), 1430-1442.

Yang, D., Saripalli, K. P., & Sereshki, F. (2021). Thermal-mechanical response of coal seams and surrounding rocks in underground coal gasification: A comprehensive review. Energy & Fuels, 35(8), 6412-6430. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c00214

Zahedi, M., Amini, M., & Hosseini, M. (2021). Roof stability and subsidence control in deep underground coal gasification: A geomechanical perspective. Rock Mechanics and Rock Engineering, 54(9), 4821-4839.