MAKKAJO‘XORI SO‘TASIDAN OLINADIGAN ADSORBENTLARNING TERMIK VA IQ SPEKTROSKOPIK TAHLILI

Rahmonaliyeva Nilufar Nodirjon qizi
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti tayanch doktoranti
Email: nilufarrahmonaliyeva1996@gmail.com
Maratov Nursultan Kayrat uli
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti tayanch doktoranti
Email: maratovn698@gmail.com
Xoshimov Shaxrom Mansurjon o‘g‘li
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti doktoranti
Email: shaxromxoshimov1989@gmail.com
Eshmetov Izzat Do‘simbatovich
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti, Kolloid kimyo va sanoat ekologiyasi laboratoriyasi mudiri, t.f.d., prof.
Abdikamalova Aziza Baxtiyarona
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti, b.i.x., t.f.d., prof.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda faollashtirilgan uglerod, makkajo‘xori so‘talarini havosiz sharoitda karbonizatsiya qilish, so‘ngra kaliy gidroksid (KOH) yordamida turli massa nisbatlarida (1:1, 1:3 va 1:5) kimyoviy faollashtirish orqali olindi. Karbonizatsiya jarayoni argon atmosferasida 400°C da Olib borildi va keyingi faollashtirish 800°C da amalga oshirildi. Olingan uglerod materiallarining strukturaviy va termik barqarorligi differensial termik analiz (DTT) va Furye Transform Infraqizil (FTIQ) spektroskopiyasi yordamida tahlil qilindi. FTIQ spektrlari C-H, C=C va C-O kabi funktsional guruhlarning mavjudligi va modifikatsiyasini tasdiqladi, DTT natijalari esa karbonizatsiya va faollashtirish bosqichlarida sezilarli termik o‘zgarishlar aniqlandi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, modifikatsiyalangan faol uglerod adsorbent sifatida foydalanish mumkin.

Kalit so‘zlar: Faollantirilgan ko‘mir, termogravimetrik tahlil, differensial termik tahlil, sholi po‘stlog‘i, bioko‘mir, kaliy gidroksid.

Abstract: In this study, activated carbon was synthesized from corn stalks through pyrolysis under an inert atmosphere, followed by chemical activation using potassium hydroxide (KOH) at varying mass ratios (1:1, 1:3, and 1:5). The carbonization process was carried out at 400°C under an argon atmosphere, while the subsequent activation was performed at 800°C. The structural and thermal stability of the resulting carbon materials was characterized using Differential Thermal Analysis (DTA) and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The FTIR spectra confirmed the presence and modification of functional groups such as C-H, C=C, and C-O. The DTA results indicated significant thermal

ISSN 3030-3907

transitions during both carbonization and activation stages. The findings suggest that the modified activated carbon holds promise for use as an efficient adsorbent.
Keywords: Activated carbon, thermogravimetric analysis, differential thermal analysis, rice husk, biochar, potassium hydroxide.
Аннотация: В настоящем исследовании активированный уголь был получен из кукурузных стеблей путём карбонизации в бескислородной среде, с последующей химической активацией с использованием гидроксида калия (KOH) при различных массовых соотношениях (1:1, 1:3 и 1:5). Процесс карбонизации проводился при температуре 400°C в атмосфере аргона, а активация — при 800°C. Структурные и термические свойства полученных углеродных материалов были проанализированы с использованием дифференциального термического анализа (ДТА) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (Фурье-ИК). Спектры ИК-Фурье подтвердили наличие и модификацию функциональных групп, таких как C-H, C=C и C-O. Результаты ДТА выявили значительные термические изменения на стадиях карбонизации и активации. Полученные данные свидетельствуют о том, что модифицированный активированный уголь может быть эффективно использован в качестве адсорбента.
Ключевые слова: Активированный уголь, термогравиметрический анализ, дифференциальный термический анализ, рисовая шелуха, биоуголь, гидроксид калия.

1. KIRISH

Birinchi bor makkajo‘xori so‘talaridan olingan karbonizatsiyalangan materiallarning KOH yordamida turli nisbatlarda faollashtirilganda yuzaga keladigan strukturaviy va funksional o‘zgarishlari kompleks ravishda FTIQ va DTT orqali tahlil qilindi. FTIQ orqali aniqlangan past chastotali (400–500 sm^{-1}) to‘lqinlar orqali K–O–C komplekslarining shakllanishi isbotlandi. DTT ma’lumotlari asosida uglerodli materiallarning termik barqarorligi haroratga bog‘liq ravishda aniq mezonlarda tavsiflandi. Ushbu tadqiqot bioko‘mir asosidagi adsorbentlar uchun yangi, barqaror va iqtisodiy jihatdan tejamkor yo‘nalishni taklif qiladi.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI

Sanoat va qishloq xo‘jaligi faoliyati natijasida atrof-muhit ifloslanishining ortib borishi suv havzalarining xavfli organik ifloslantiruvchi moddalar bilan yuqori ifloslanishiga olib kelmoqdi [1]. Ushbu ifloslantiruvchi moddalar orasida polisiklik aromatik uglevodorodlar (PAU) toksikologik ta'siri tufayli atrof-muhit va ekologiya uchun katta xavf tug‘diradi. Tabiatda qo‘llaniladigan biologik faol organik birikmalar chiqindilari, qazib olinadigan yoqilg‘ining yonishi va kimyo

ISSN 3030-3907

soxasining rivojlanishi natijasida atrof muhitga keng tarqalmoqda. Ularning gidrofobik tabiati suv va tuproqlarda keng tarqalishiga sabab bo‘lmoqda, bu ularni suv tarkibidan tozzalash muhim ekologik муаммолардан biri sanaladi [2-4]. Polisiklik aromatik uglevodorodlar (PAU) bilan ifloslangan suvni tozalash uchun istiqbolli yondashuvlardan biri qishloq xo‘jaligi biomassasidan olingan bioko‘mirdan foydalanish dolzarb hisoblanadi [5]

Faollashtirilgan uglerod yuqori sirt maydoni va kimyoviy barqarorligi tufayli suvni tozalash, havoni filtrlash va katalitik hususiyati tufayli adsorbsion jarayonlarda keng qo‘llaniladigan g‘ovakli uglerodli materialdir. Faollashtirilgan uglerod, ko‘mir va neftga asoslangan hom ashyolar kabi qayta tiklanmaydigan manbalardan ishlab chiqariladi. Biroq, tabiatda ortib borayotgan ekologik muammolar tufayli tadqiqotchilarni qayta tiklanadigan biomassadan barqaror, o‘rnini bosuvchi faol uglerodlarni olishga undadi.

Xuddi shunday mahsulotlardan bo‘lgan makkajo‘xori so‘tasi, sholi po‘stlog‘i, hindiston yong‘og‘i qobig‘i kabi qishloq xo‘jaligi chiqindilari qayta tiklanadigan, arzon va tarkibida uglerod saqlagan xom ashyolar xisoblanadi. Bu kabi maxsulotlar faollashtirilgan uglerod ishlab chiqarishda yuqori samaradorlikka ega. Ular orasida makkajo‘xori so‘talari yuqori lignoselulozliligi va agrosanoat qoldig‘i sifatida mavjudligi tufayli uni yuqori samarali xom ashyoga aylantiradi [6,7].

Ushbu tadqiqotda faollashtirilgan uglerod, dastlab makkajo‘xori so‘tasini piroliz qilish so‘ngra kaliy gidroksid (KOH) yordamida turli xil massa nisbatlarida kimyoviy faollashtirish orqali olindi. KOHning shimdirilishi uglerodlashgan materiallarning strukturaviy va termik xatti-harakatlariga ta’siri, Differensial Termik Analiz (DTT) va Furye Transform Infraqizil Spektroskopiyasi (FTIQ) yordamida o‘rganildi.

3. TADQIQOT METODOLOGIYASI

3.1. *Xom ashyo va bioko‘mir tayyorlash*

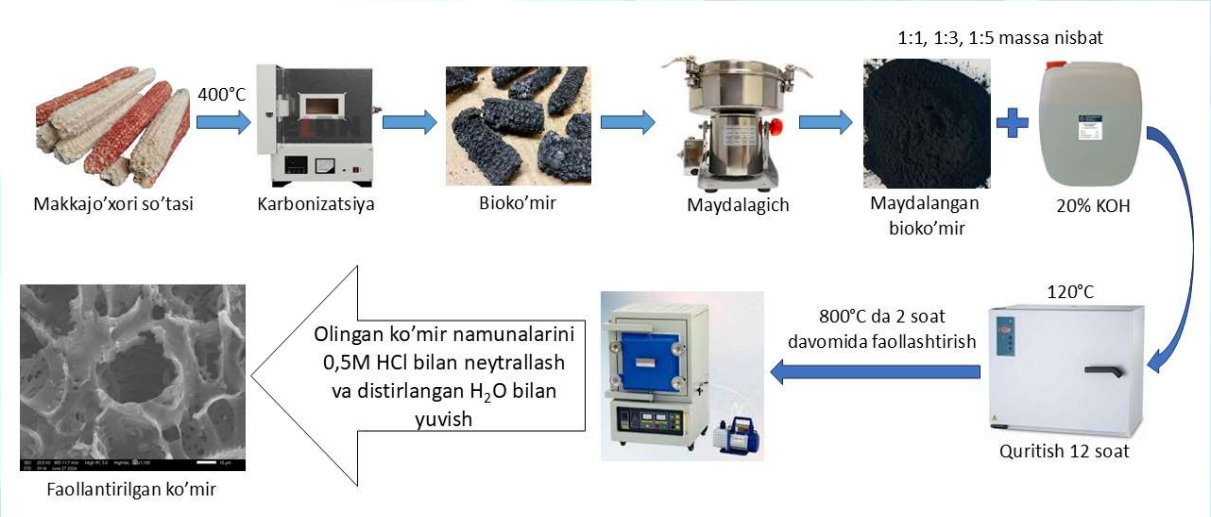
Makkajo‘xori so‘talari yig‘ib olinib, turli xil iflosliklardan tozalash uchun distillangan suv bilan yuvildi va xona haroratida quritildi. Quritilgan biomassadan bir xil o‘lchamdagi zarrachalarni olish uchun elektrmaydalagichda maydalangan va elakdan o‘tkazilgan. Kimyoviy faollashtirish va ishlov berishdan keyingi jarayonlar uchun mos ravishda kaliy gidroksid (KOH, analiz uchun toza) va xlorid kislota (HCl, 0,5 M) ishlatilgan. Piroliz jarayonida inert atmosferani xosil qilish uchun argon gazi ishlatildi. Barcha kimyoviy moddalar sertifikatlangan yetkazib beruvchilardan sotib olingan va qo‘shimcha tozalashsiz ishlatilgan.

3.2. *Makkajo‘xori so‘talarining pirolizi va kimyoviy faollash*

ISSN 3030-3907

Makkajo‘xori so‘tasi pirolizi quvurli pechda argon atmosferasida olib borildi. Taxminan 200 g biomassa namunasi 10°C/min tezlikda 400°C haroratgacha qizdirildi va to‘liq karbonatsiyani ta’minlash uchun 2 soat davomida ushlab turildi. Sovutilgandan so‘ng, hosil bo‘lgan ko‘mir namunalari faollashtirish jarayoni uchun yig‘ib olindi. Karbonizatsiyalangan materiallar kaliy gidroksid (KOH) bilan turli xil massa nisbatida: 1:1, 1:3 va 1:5 (bioko‘mir:KOH) shimdirildi. KOH to‘liq shimilishi uchun xona haroratida 24 soat davomida qoldirildi. So‘ngra namunalar quritildi va mufel pechida 800°C haroratda 2 soat davomida inert atmosferada termik faollashtirildi [8].

Faollashtirilgandan so‘ng namunalar xona haroratigacha sovutildi va noorganik qoldiqlarni, xususan, kaliy saqlovchi birikmalardan tozalash uchun 0,5 M xlorid kislota (HCl) bilan qayta ishlandi. Shundan so‘ng neytral neytral muhitga erishilgunga qadar deionizatsiyalangan suv bilan bir necha marta yuvildi. Olingan faollashtirilgan ko‘mir namunalari 105-125°C haroratlar oralig‘ida 12 soat davomida pechda quritildi (1-rasm). Olingan adsorbentlar fizik-kimyoviy tahlillar uchun germetik idishlarda saqlandi.



1-rasm. Makkajo‘xori so‘tasidan faollantirilgan ko‘mir olish.

3.3. *Fizik-kimyoviy tahlil usullari*

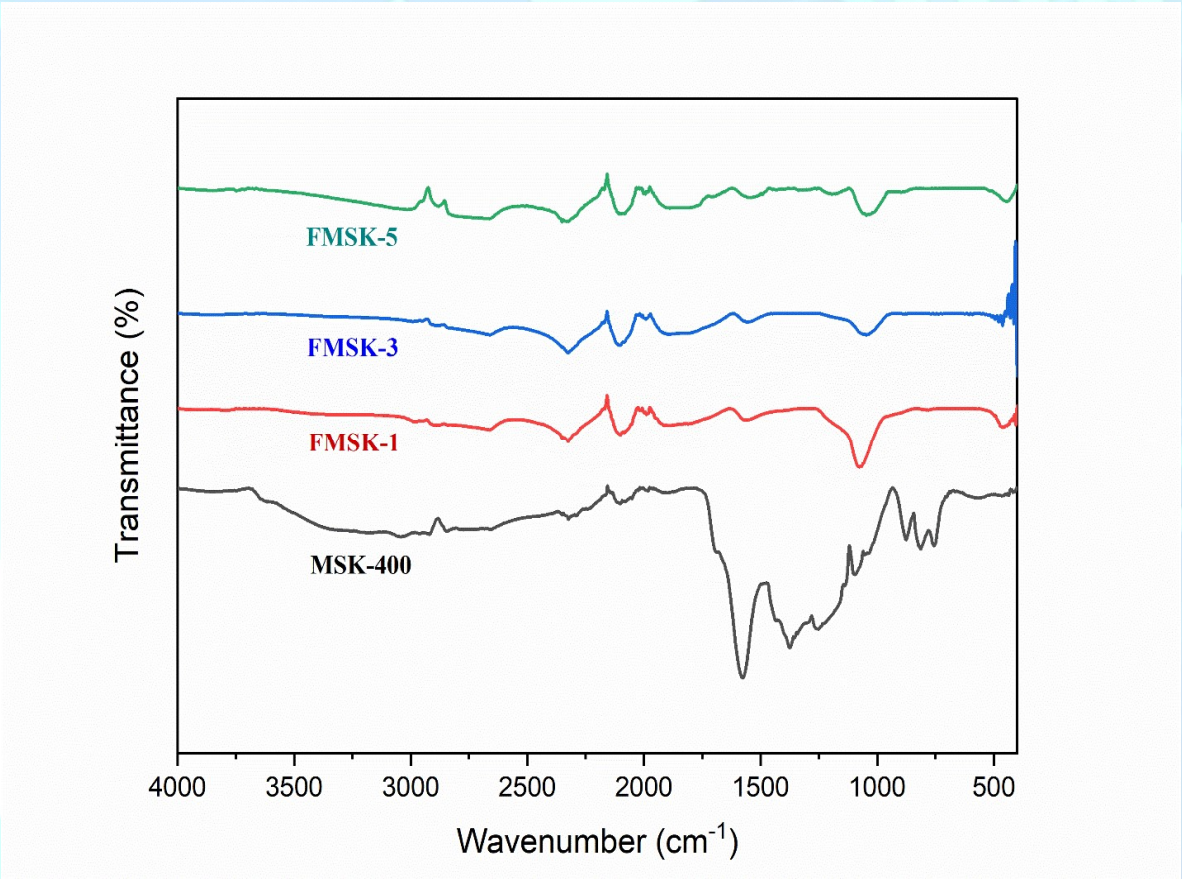
Tayyorlangan faollashtirilgan ko‘mir namunalarining strukturaviy va issiqlik xossalari differensial termik tahlil (DTT) va Furye-transform infraqizil spektroskopiyasi (FTIQ) yordamida tahlil qilindi. Namunalarning termik parchalanish xususiyatlarini o‘rganish uchun DTT qo‘llanildi, FTIQ tahlilil qilish orqali esa sirt funksional guruhlari va kimyoviy bog‘lanish haqida ma’lumotlar olindi. FTIQ spektrlari 4000-400 sm^{-1} oralig‘ida qayd etildi.

4. MUHOKAMA VA NATIJALAR

4.1. Infraqizil (FTIQ) spektrasko‘pik tahlil.

ISSN 3030-3907

FTIQ spektroskopiyasi yordamida karbonizatsiyalangan va KOH yordamida faollashtirilgan makkajo‘xori so‘talaridan olingan uglerod materiallarining sirt funksional guruhlari o‘rganildi.



2-rasm. Quyida har bir namunadagi asosiy funksional guruhlar va ularning o‘zgarishlari tahlil qilindi.

MSK-400 namunasi (oddiy karbonizat) 3043,85 sm^{-1} va 2845,48 sm^{-1} oralig‘ida joylashgan to‘lqinlar orqali C–H stretching (alifatik uglevodorodlar) mavjudligini ko‘rsatadi. Shuningdek, 1575,16 sm^{-1} da joylashgan signal aromatik C=C bog‘ining mavjudligini bildiradi. 1374–875 sm^{-1} oralig‘idagi so‘rilishlar fenolik –OH, C–O bog‘lari yoki aromatik guruhlarga mos keladi. Ushbu spektr tahliliga ko‘ra, karbonizatsiyadan keyin materialda hali ham lignin va gemitsellyuloza qoldiqlari saqlanib qolgan.

FMSK-1 namunasi (KOH:ko‘mir = 1:1) bilan solishtirilganda, yangi cho‘qqilar – ayniqsa 2324,89 sm^{-1} va 2100,15 sm^{-1} sohalarda – CO_2 va karbonat guruhlarining paydo bo‘lganini bildiradi. 1559,13 sm^{-1} da joylashgan cho‘qqi esa aromatik tuzilmalarning barqarorligini ko‘rsatadi. 463–405 sm^{-1} oralig‘idagi intensiv so‘rilish esa K–O bog‘larining shakllanganligidan darak beradi, bu esa KOH bilan faollashtirish natijasida yuzaga kelgan modifikatsiyani isbotlaydi.

FMSK-3 namunasi (KOH:ko‘mir = 1:3) spektrida 2661,03 sm^{-1} va 2324,22 sm^{-1} da joylashgan keng cho‘qqilar karbonat turlarining ko‘pligidan dalolat beradi.

ISSN 3030-3907

Ayniqsa, 2099,90 sm^{-1} atrofidagi signal karbonil guruhlarining paydo bo‘lganligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, 1047,10 sm^{-1} da qayd etilgan cho‘qqi C–O–C bog‘larining mavjudligini bildiradi, bu esa oksidlovchi muhitda yuzaga kelgan murakkab kislorodli strukturalarni ifodalaydi. Shuningdek, 478–414 sm^{-1} oralig‘idagi keskin so‘rilishlar yuqori darajadagi metal–oksid bog‘lanishlarini bildiradi.

FMSK-5 namunasi (KOH:ko‘mir = 1:5) faollashtirilgan eng kuchli namunadir. 3016,72 sm^{-1}, 2662,05 sm^{-1} va 2350,98 sm^{-1} oralig‘idagi to‘lqin uzunliklari yuqori darajadagi karbonat va CO_2 guruhlarini aks ettiradi. 2107,03 sm^{-1} da joylashgan kuchli cho‘qqi esa karbonil bog‘lanishlar mavjudligini bildiradi. 445,79 sm^{-1} dagi signal esa faollashtirish natijasida hosil bo‘lgan K–O–C komplekslarining mavjudligidan dalolat beradi. Ushbu o‘zgarishlar materiali yuzasida yangi sirt guruhlari paydo bo‘lganini va adsorbsion xususiyatlar kuchayganini ko‘rsatadi.

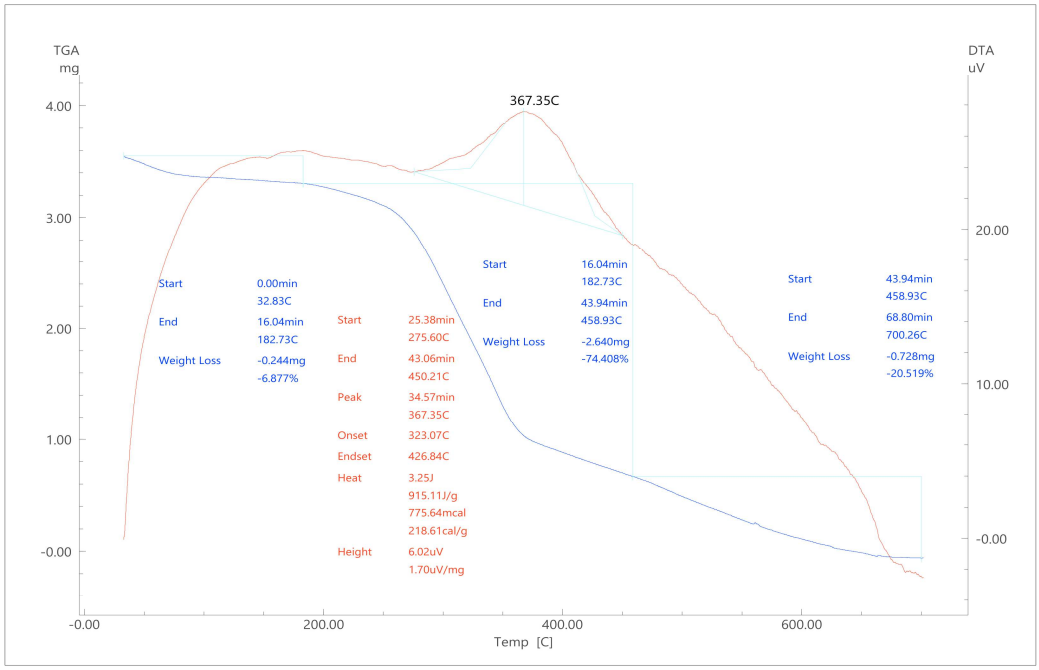
Spektral tahlillar shuni ko‘rsatdiki, KOH bilan faollashtirish natijasida namunalar orasida sezilarli strukturaviy o‘zgarishlar yuzaga kelgan. KOH:ko‘mir massa nisbatining oshishi bilan:
karbonat, karbonil va K–O guruhlarining intensivligi oshgan,
sirt funksional guruhlar soni ortgan,
oksidlovchi sharoitda yangi energetik faol markazlar shakllangan.

Bu holat sintez qilingan uglerod materialining sirt faolligi va adsorbsion xossalarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Ayniqsa, 1:5 nisbatida faollashtirilgan namunada bu jarayon o‘zining eng yuqori choqqisiga yetgan.

4.2. Termik tahlil (TGT/DTT) natijalari

Makkajo‘xori so‘tasidan olingan namunalar ustida olib borilgan differensial termik tahlil (DTT) va termogravimetrik tahlil (TGT) natijalari uglerodlanish va faollashtirish jarayonlarida sodir bo‘ladigan bosqichma-bosqich termik o‘zgarishlarni yoritadi 2-rasm.

ISSN 3030-3907



3-rasm Makkajo‘xori so‘tasining DTT va TGT tahlili.

3-rasmda keltirilgan DTT-TGT grafiklarida uchta asosiy og‘irlik yo‘qotish bosqichi aniqlangan.

Dastlabki 32,83 - 182,73°C haroratlar oralig‘ida, olingan namunada 0,244 mg (6,88%) miqdorida massa yo‘qotilishi kuzatildi. Bu jarayon, odatda, namunadagi namlik (adsorbsiyalangan suv) va kam molekulali, uchuvchan birikmalarning bug‘lanishi bilan bog‘liq.

2-bosqich (182.73–458.93°C): Bu bosqichda 2,640 mg (74,41%) massa yo‘qotilishi kuzatilgan bo‘lib, bu jarayon karbonli komponentlarning, ayniqsa sellyuloza, gemitsellyuloza va ligninning parchalanishi bilan izohlanadi. Harorat 367,35°C atrofida maksimum cho‘qqiga (DTT pik) erishgan bo‘lib, bu ekzotermik reaksiyani bildiradi. Bu ekzotermik reaksiyaning boshlanish harorati 323,07 °C bo‘lib, tugash harorati esa 426,84°C ekanligi ko‘rinadi. Bu esa asosiy termik parchalanish bosqichi hisoblanadi.

3-bosqich (458.93–700.26°C): Bu davrda og‘irlik yo‘qotilishi kamaygan bo‘lsa-da (–0.728 mg, 20.52%), KOH bilan bog‘liq kimyoviy reaktsiyalar va karbon qoldiqlarning barqarorlashuvi sodir bo‘lgan bo‘lishi mumkin.

DTT spektrlari namunadagi ekzotermik va endotermik jarayonlarni aks ettiradi. Grafikda asosiy ekzotermik cho‘qqi 367,35°C da qayd etilgan. Bu — namunadagi organik moddalarning faollashgan parchalanishi bilan bog‘liq. Issiqlik qiymati 3,25 J (915,11 J/g) miqdorida bo‘lib, bu kuchli termik reaksiyaning sodir bo‘lganini bildiradi. Cho‘qqi balandligi 6,02 µV (1,70 µV/mg) ga teng bo‘lib, bu reaksiyaning intensivligidan darak beradi.

ISSN 3030-3907

Bu natijalar KOH ning bioko‘mirga ta’siri ostida yuzaga keladigan chuqur kimyoviy o‘zgarishlarni ko‘rsatib beradi. Termik parchalanish jarayoni faollashtirilgan uglerodning samarali tarmoq tuzilmasini shakllantirishda asosiy rol o‘ynaydi. Olingan ma’lumotlar yuqori haroratli KOH bilan faollashtirish lignoselulozali biomassa asosidagi uglerod materiallarining strukturaviy va kimyoviy modifikatsiyasida muhim omil ekanini tasdiqlaydi.

Umumiy xulosa:

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, namunada termik barqarorlik 182–426°C oralig‘ida buziladi va bu oraliq maksimal massa yo‘qotish va ekzotermik reaksiyalar bilan tavsiflanadi.

Bu ma’lumotlar FTIQ tahlili bilan ham mos keladi, ya’ni yuqori haroratda funksional guruhlarning parchalanishi kuzatilgan.

700°C gacha bo‘lgan yo‘qotishlar karbonli tuzilmalarning to‘liq parchalanib, inert qattiq qoldiqlarga aylanishini ko‘rsatadi.

5. XULOSA VA TAKLIFLAR

Ushbu tadqiqot doirasida makkajo‘xori so‘talaridan ekologik xavfsiz, yuqori samarali uglerodli adsorbentlar olish imkoniyati o‘rganildi. Piroliz va KOH yordamida faollashtirish natijasida tayyorlangan namunalar FTIQ va DTT usullari orqali chuqur tahlil qilindi. FTIQ spektrlari funksional guruhlar evolyutsiyasini, ayniqsa C–H, C=C, C–O va K–O bog‘larining shakllanishini isbotladi. DTT natijalari esa namunadagi issiqlik reaksiyalarini aniqlab, faollashtirish jarayonining haroratga bog‘liq mexanizmini yoritdi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, KOH:bioko‘mir massaviy nisbatining oshishi bilan funksional guruhlar va karbon strukturasi sezilarli darajada faollashadi. Ayniqsa, 1:5 nisbatida faollashtirilgan namunada sirt faolligi va issiqlikka chidamlilik yuqori darajada ekanligi aniqlandi. Bu esa mazkur materiallarni adsorbent sifatida samarali qo‘llash imkoniyatini tasdiqlaydi.

5. Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati

Qayta tiklanadigan, arzon va keng tarqalgan qishloq xo‘jalik chiqindisi — makkajo‘xori so‘tasi asosida yuqori sifatli adsorbentlar tayyorlash texnologiyasi taklif qilindi.

Olingan uglerodli materiallar sanoat oqova suvlari, organik ifloslantiruvchi moddalar va gazlarni adsorbsiyalashda samarali qo‘llanishi mumkin.

KOH bilan faollashtirish usuli oddiy uskunalarda, yuqori chiqish bilan amalga oshirilishi tufayli, u kichik va o‘rta korxonalar sharoitida ham joriy etilishi mumkin.

Tadqiqot natijalari mahalliy xom-ashyolar asosida mahalliy adsorbent sanoatini shakllantirishga zamin yaratadi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Mishra, R.K.; Mentha, S.S.; Misra, Y.; Dwivedi, N. Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research. Water-Energy Nexus 2023, 6, 74–95.
2. Montano, L.; Baldini, G.M.; Piscopo, M.; Liguori, G.; Lombardi, R.; Ricciardi, M.; Esposito, G.; Pinto, G.; Fontanarosa, C.; Spinelli, M.; et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Environment: Occupational Exposure, Health Risks and Fertility Implications. Toxics 2025, 13, 151.
3. Venkatraman, G.; Giribabu, N.; Mohan, P.S.; Muttiah, B.; Govindarajan, V.K.; Alagiri, M.; Abdul Rahman, P.S.; Karsani, S.A. Environmental impact and human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons and remedial strategies: A detailed review. Chemosphere 2024, 351, 141227.
4. Maletić, S.P.; Beljin, J.M.; Rončević, S.D.; Grgić, M.G.; Dalmacija, B.D. State of the art and future challenges for polycyclic aromatic hydrocarbons is sediments: Sources, fate, bioavailability and remediation techniques. J. Hazard. Mater. 2019, 365, 467–482.
5. Beljin, J.; Đukanović, N.; Anojčić, J.; Simetić, T.; Apostolović, T.; Mutić, S.; Maletić, S. Biochar in the Remediation of Organic Pollutants in Water: A Review of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Pesticide Removal. Nanomaterials 2025, 15, 26.
6. Yaashikaa, P.R.; Kumar, P.S.; Varjani, S.; Saravanan, A. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. Biotechnol. Rep. 2020, 28, e00570.
7. Olugbenga, O.S.; Adeleye, P.G.; Oladipupo, S.B.; Adeleye, A.T.; John, K.I. Biomass-derived biochar in wastewater treatment- a circular economy approach. Waste Manag. Bull. 2023, 1, 1–14.
8. Khoshimov S., Raxmonaliyeva N., Askarova D., Seytnazarova O., Abdikamalova A. Changes in the porous structure of carbonizate of carbon containing raw under alkaline activation. AIP Conference Proceedings, 2024, Vol. 3045, p. 030059.

ISSN 3030-3907