KUNGABOQAR QOBIG‘INING TERMIK PARCHALANISH JARAYONLARINI O‘RGANISH VA ULARNING TERMIK HAMDA SPEKTRAL TAHLILI

Maratov N.K.
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Abdikamalova A.B.
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Muratov M.M.
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Kalbaev A.M.
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Zaripbayev K.Sh.
O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti

Annotatsiya: Ushbu maqolada kungaboqar qobig‘ining termik parchalanish jarayoni va undan faol uglerodli materiallar olish imkoniyatlari o‘rganildi. Xom ashyo dastlab 400–900 °C oralig‘ida turli haroratlarda piroliz yo‘li bilan termik ishlovdan o‘tkazildi, so‘ngra KOH eritmasi yordamida kimyoviy faollashtirish amalga oshirildi. Termogravimetrik (TGA/DTA) va infraqizil (FTIR) tahlillar asosida namunalar tarkibidagi o‘zgarishlar, sirt funksional guruhlarining shakllanishi hamda termik barqarorlik darajasi aniqlangan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, kungaboqar qobig‘i biomassa sifatida yuqori uglerodli qoldiq beruvchi istiqbolli xom ashyo hisoblanadi. KOH konsentratsiyasining ortishi bilan sirt funksional guruhlar sonining ko‘payishi va materialning adsorbsion xususiyatlarining yaxshilanishi qayd etildi. Tadqiqot natijalari suvni tozalash, gaz adsorbsiyasi va energiya saqlash tizimlari uchun ekologik toza faol uglerod materiallari ishlab chiqish imkoniyatlarini ochib beradi.

Kalit so‘zlar: kungaboqar qobig‘i, biomassa, piroliz, faol uglerod, KOH faollashtirish, FTIR, TGA/DTA, termik barqarorlik.

Abstract: This study investigates the thermal decomposition behavior of sunflower husk and its potential for producing activated carbon materials. The biomass was subjected to pyrolysis at 400–900 °C under inert conditions, followed by chemical activation using potassium hydroxide (KOH). Thermogravimetric (TGA/DTA) and Fourier-transform infrared (FTIR) analyses were conducted to evaluate the structural and functional changes during carbonization and activation. The results demonstrate that sunflower husk serves as a promising carbon-rich precursor, exhibiting high thermal stability and surface functionality. Increasing KOH concentration enhanced surface hydroxyl and carbonyl groups, thereby improving the adsorption properties of the activated carbon. These findings confirm that sunflower husk can be effectively utilized for the development of eco-friendly

ISSN 3030-3907

carbon materials suitable for water purification, gas adsorption, and energy storage applications.

Keywords: sunflower husk, biomass, pyrolysis, activated carbon, KOH activation, FTIR, TGA/DTA, thermal stability.

Аннотация: В данной работе изучены процессы термического разложения лузги подсолнечника и возможности получения на её основе активированных углеродных материалов. Биомасса подвергалась пиролизу при температурах 400–900 °C в инертной атмосфере, после чего проводилась химическая активация с использованием раствора гидроксида калия (KOH). На основе термогравиметрического (TGA/DTA) и инфракрасного (FTIR) анализов определены изменения в структуре, образование функциональных групп и степень термической стабильности образцов. Установлено, что лузга подсолнечника является перспективным углеродсодержащим сырьём, обеспечивающим высокую термическую устойчивость и развитую поверхность. Повышение концентрации KOH способствует увеличению количества гидроксильных и карбонильных групп, что улучшает адсорбционные свойства материала. Результаты подтверждают возможность эффективного использования лузги подсолнечника для разработки экологически чистых активированных углеродных материалов, применяемых для очистки воды, газовой адсорбции и накопления энергии.

Ключевые слова: лузга подсолнечника, биомасса, пиролиз, активированный углерод, активация KOH, FTIR, TGA/DTA, термическая стабильность.

Kirish

So‘nggi yillarda biomassa asosidagi chiqindilardan yuqori qo‘shimcha qiymatga ega mahsulotlar ishlab chiqish ekologik va iqtisodiy jihatdan muhim yo‘nalishlardan biriga aylandi. Qishloq xo‘jaligi chiqindilarining ko‘pligi va ularni qayta ishlash imkoniyatlarining kengligi ulardan samarali foydalanish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Shulardan biri bo‘lgan kungaboqar qobig‘i tarkibida sellyuloza, gemitsellyuloza va lignin kabi organik komponentlar mavjud bo‘lib, ular termik va kimyoviy ishlov berish orqali faol uglerod olish uchun qulay xom ashyo hisoblanadi.

Faol uglerod materiallari yuqori sirt maydoni, mikrog‘ovakli tuzilma va sirt funksional guruhlarning mavjudligi sababli adsorbsiya, kataliz, gazni tozalash, suvni filtrlash, energiya saqlash tizimlari (superkondensatorlar) kabi ko‘plab sohalarda keng qo‘llaniladi. Shuning uchun arzon va ekologik toza xom ashyolardan faol uglerod olish texnologiyalarini ishlab chiqish dolzarb masalalardan biridir.

Ushbu tadqiqotda mahalliy qishloq xo‘jaligi chiqindisi – kungaboqar qobig‘i asosida faol uglerod olish imkoniyati o‘rganildi. Xom ashyo dastlab termik

ISSN 3030-3907

(piroliz) usulida turli harorat va vaqt davomida kuydirildi, so‘ngra kaliy gidroksid (KOH) eritmasi yordamida kimyoviy faollashtirish amalga oshirildi. Olingan namunalar termogravimetrik (TGA/DTA) va infraqizil (FTIR) tahlil usullari yordamida o‘rganildi. Tadqiqot natijalari kungaboqar qobig‘idan olingan uglerod materiallarining termik barqarorligi, sirt funksional guruhlarining shakllanishi hamda faollashtirish jarayonidagi o‘zgarishlarni aniqlash imkonini berdi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

So‘nggi yillarda biomassa chiqindilarini energiya manbai va uglerodli materiallar sifatida qayta ishlash bo‘yicha ko‘plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Ayniqsa, kungaboqar chiqindilari – poya, urug‘ qobig‘i va po‘choqlari – qayta tiklanuvchi resurs sifatida katta qiziqish uyg‘otmoqda. Chunki ularning tarkibida sellyuloza, gemitsellyuloza va lignin kabi yuqori organik komponentlar mavjud bo‘lib, ular termik parchalanish natijasida uglerodli qoldiq hosil qiladi.

Apaydın Varol va Varol (2023) o‘z tadqiqotlarida kungaboqar chiqindisi va boshqa biomassalarning TGA-FTIR tahlili orqali ularning asosiy parchalanish bosqichlarini aniqlagan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, 450–700 °C oralig‘ida gemitsellyuloza va sellyuloza parchalanishi asosiy massa yo‘qotish jarayoniga sabab bo‘ladi.

Mishra va hammualliflar (2023) kungaboqar poyasi va mayda donli o‘simliklar biomassasining piroliz kinetikasini taqqoslab, kungaboqar chiqindilarining parchalanish jarayoni uch bosqichda kechishini aniqlagan: namlikning bug‘lanishi, organik moddalarning parchalanishi va karbonlanish bosqichi.

Islamova va boshqalar (2023) esa kungaboqar chiqindilarining yonish jarayonini o‘rganib, ligninning yuqori haroratda sekin parchalanishi, ammo yuqori uglerod qoldig‘ini hosil qilishi haqida xulosa qilganlar. Bu esa kungaboqar qobig‘i asosida faol uglerod materiallarini olish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Kluska va hammualliflar (2024) tomonidan olib borilgan tadqiqotda kungaboqar chiqindilarining karbonlanish jarayoni 400–900 °C oralig‘ida o‘rganilgan. Ular harorat ortishi bilan massa yo‘qotilish darajasi kamayib, materialning termik barqarorligi ortishini aniqlaganlar.

INMATEH Agricultural Engineering (2022) jamoasining ishlari esa kungaboqar qobig‘ining termik destruksiya jarayonida uchuvchi komponentlar roli va ularning yonish kinetikasini tahlil qilgan. Ularning xulosalariga ko‘ra, 700 °C dan yuqori haroratlarda parchalanish jarayoni muvozanat holatiga yaqinlashadi.

Ushbu adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, kungaboqar qobig‘i biomassa sifatida yuqori uglerodli qoldiq beruvchi material bo‘lib, uning termik ishlov berish jarayonlari harorat va vaqt omillariga sezgir. Shuningdek, 400–900 °C oralig‘idagi

ISSN 3030-3907

haroratda olib borilgan piroliz jarayonlari massaning kamayishi, sirt tuzilmasining o‘zgarishi hamda funksional guruhlarning shakllanishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI

2.1 Xom ashyoni tayyorlash

Tadqiqotlarda xom ashyo sifatida mahalliy qishloq xo‘jaligi chiqindisi hisoblangan kungaboqar qobig‘i ishlatildi. Xom ashyo dastlab mexanik aralashmalardan tozalandi, so‘ngra 105 °C da 24 soat davomida SNOL markali laboratoriya quritish pechida quritilib, namlikdan tozalandi. Quritilgan namunalar maydalanib, bir xil zarracha o‘lchamini ta’minlash maqsadida 0,5 mm elakdan o‘tkazildi. Tayyorlangan namunalar keyingi termik va kimyoviy faollashtirish jarayonlarida ishlatildi.

2.2 *Termik faollantirish*

Tayyorlangan kungaboqar qobig‘i chiqindisidan har bitta namuna uchun 100 gr dan olindi. Namunalarni termik ishlov berish jarayoni quvirli piroliz uskunasida argon gazi yordamida 10°C/min tezlikda inert muhit yaratilib 400-900 ºC larda 1-5 soat davomida olib borildi (1-jadval). Termik ishlov berishdan so‘ng har bir kuydirlgan namunaning massasi o‘lchanib dastlabki massaga nisbatan massa o‘zgarishi hisoblandi. Olingan natijalarning termik ishlov berishda harorat va vaqtga bog‘liq ravishda tahlili o‘rganildi.

2.3 Kimyoviy faollashtirish

Kungaboqar qobig‘idan olingan ko‘mirni kimyoviy faollashtirish uchun 500 ºC da 1 soat davomida kuydirilgan namuna tanlab olindi. Ko‘mir uch xil (10,20,30) foizli KOH (kaliy gidroksid) eritmasi bilan 1:10 nisbatda aralashtirildi. Har bitta namuna uchun ko‘mir moddasidan 50 gr dan olindi. Aralashmani 12 soat davomida 110 ºC da SNOL 67/350 markali quritish pechida quritildi. Quritilgan namunani 800 ºC da 2 soat davomida argon gazi yordamida inert atmosferada kuydirildi. Kuydirilgan ko‘mir moddasini neytrallash uchun 50 ml suv quyilib pH metrda pH ko‘rsatgichi o‘lchanadi va 32% li 0,5 M li HCl kislotasidan byuretka yordamida neytral bo‘lguncha tomchilatib quyiladi. Neytrallangan ko‘mirlarni distillangan suv yordamida toliq tuzlardan tozalanguncha yuviladi.

2.4 Termik tahlili

Kungaboqar qobig‘ining termik barqarorligi va parchalanish bosqichlarini aniqlash uchun DTA (Differensial Termik Analiz) va TGA (Termogravimetrik Analiz) usullari qo‘llanildi. Jarayon STA 6000 (Simultaneous Thermal Analyzer) qurilmasida harorat oralig‘i: 0-1000 °C, qizdirish tezligi: 10°C/min, atmosfera: inert (Ar), gaz oqimi: 80 ml/min olib borildi. Analiz uchun 1,251 mg namuna olindi.

2.5 Infraqizil (FTIR) spektroskopik tahlil usuli

ISSN 3030-3907

Ko‘mir va kimyoviy faollashtirilgan ko‘mir namunalarining sirt tuzilishi va funksional guruhlarini aniqlash maqsadida infraqizil spektroskopiya (FTIR) tahlili o‘tkazildi. Tahlil Bruker Tensor markali Fourier-transform infraqizil spektrometri yordamida amalga oshirildi. Spektrlar 4000–500 cm^{-1} oralig‘ida, 4 cm^{-1} aniqlikda o‘lchandi. Olingan FTIR spektrlari yordamida namunadagi asosiy funksional guruhlar identifikatsiya qilindi. Cho‘qqilar intensivligi va joylashuviga qarab ko‘mir va kimyoviy faollashtirilgan ko‘mir orasidagi farqlar tahlil qilindi.

3. NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

3.1 Kungaboqar qobig‘ini termik faollashtirishning harorat va vaqtga bog‘liqligi

Kungaboqar qobig‘ini termik ishlov berish jarayoni piroliz uskunasida argon gazi yordamida inert muhit yaratilib 400-900 ºC larda 1-5 soat davomida olib borildi (1-jadval).

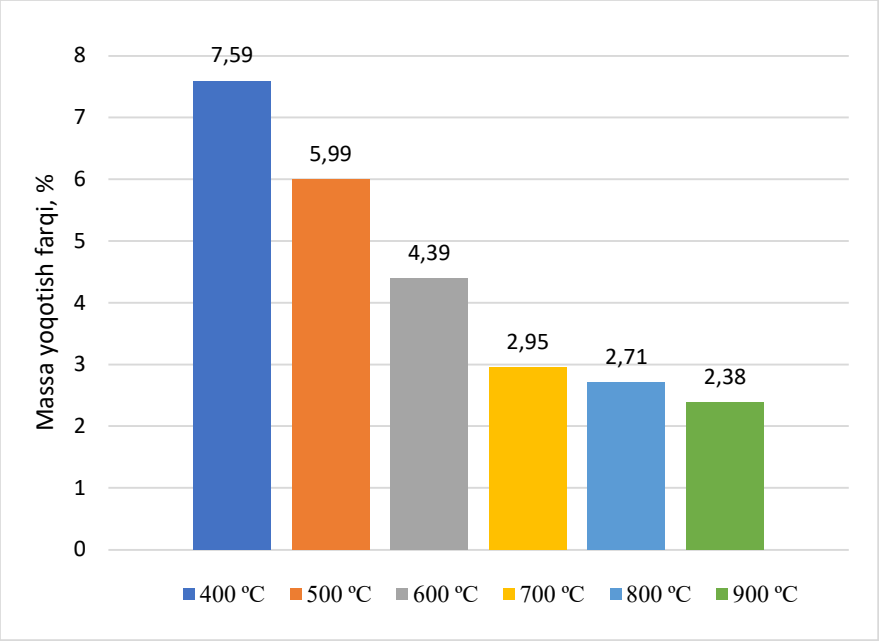
1-jadval.

Massa kamayishining harorat va ishlov berish davomiyligiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi (%)

Davomiylik, soat	Harorat, °C					
	400	500	600	700	800	900
1	53,77	64,77	67,44	73,18	74,16	74,86
2	56,63	66,18	68,70	74,06	74,83	75,17
3	58,3	68,32	69,69	74,73	75,24	75,84
4	60,48	69,94	70,77	75,51	76,11	76,33
5	61,36	70,76	71,83	76,13	76,87	77,24

Yuqoridagi jadvalda keltirilgan 400ºC haroratda 1 soatdan 5 soatgacha termik ishlov berish davomiyligini oshirish massa yo'qotilishi qiymatini 53,77 dan 61,36% gacha orttirsa, 500 ºC da 64,77 dan 70,76% gacha, 600 ºC da 67,44 dan 71,83% gacha, 700 ºC da 73,18dan 76,13% gacha, 800 ºC da 74,16 dan 76,87% gacha va 900 ºC da 74,86 dan 77,24 % gacha orttiradi. Yuqori massa yoqotilishlar farqi 400-600 ºC da kuzatilib, 600-900 ºC larda nisbattan kamayib bordi. 450 ºC gacha bo‘lgan oraliqda bo‘lgan massa yoqotishlar kungaboqar qobig‘idagi namlikning bug‘lanishi, gemitsellyuloza va sellyuloza parchalanishi, shuningdek, ligninning boshlang‘ich parchalanishi hisobiga sodir bo‘ladi [1,2]. 450 °C–700 °C harorat oralig‘idagi massa yoqotilishlarda ikkinchi darajali parchalanish yoki karbonlanish jarayoni sodir bo‘lishi mumkin. Masalan, sellyuloza yoki ligninning qolgan qismlari parchalanishi mumkin. Bu jarayon odatda sekin kechadi va kuchli termik effekt kuzatilmaydi [3]. 700-900 °C oralig‘ida esa karbon qoldig‘ining yonishi yoki $CaCO_3$ parchalanishi, shuningdek, uglerodning CO_2 va H_2O bilan reaksiyalari yuz beradi [4,5]. 400 dan 900 °C gacha bo‘lgan haroratlarda 1-5 soat vaqt davomiyligida massa yoqotilishi farqi har bitta haroratdagi namunalar kesimida hisoblab chiqildi (1-rasm).

ISSN 3030-3907



1-rasm. Haroratlar kesimidagi massa yoqotishlar farqi.

Yuqoridagi grafikdan ko‘rinib turibdiki, 400 °C da 1 soat davomida termik ishlov berilgan kungaboqar qobig‘ining massa yo‘qotilishi 53,77 % ni tashkil etgan bo‘lsa, 5 soat davomida bu ko‘rsatkich 61,36 % gacha oshgan. Shunday qilib, 1 soatdan 5 soatgacha bo‘lgan oraliqda massa yo‘qotilishdagi o‘zgarish 7,59 % ni tashkil etdi. Harorat oshishi bilan bu farq bosqichma-bosqich kamayib bordi: 500, 600, 700, 800 va 900 °C da mos ravishda 5,99 %, 4,39 %, 2,95 %, 2,71 % va 2,38 % ni tashkil etdi.

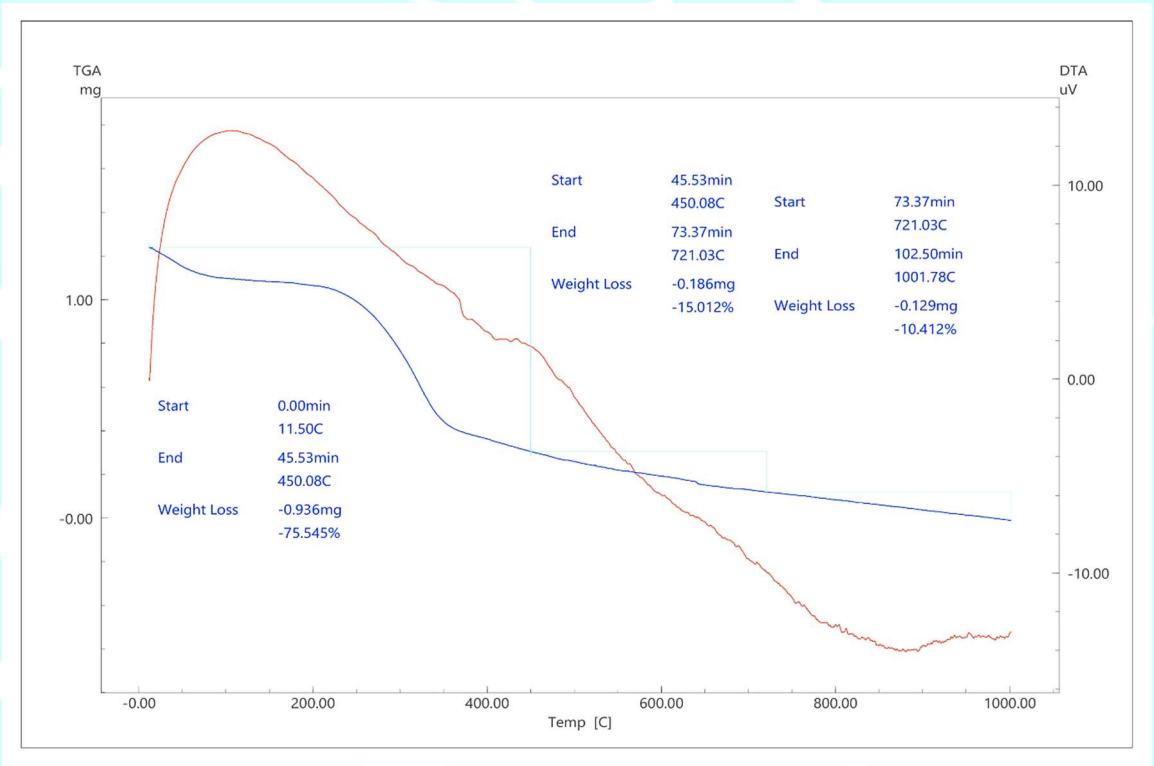
Natijalardan ko‘rinadiki, kungaboqar qobig‘ining termik parchalanishida vaqt omilining ta’siri past haroratlarda sezilarli darajada kuchli bo‘lib, harorat ortishi bilan bu ta‘sirning nisbiy ahamiyati kamayadi. Bu holat 400 °C da namlikning bug‘lanishi, gemitsellyuloza va sellyulozaning dastlabki parchalanishi jarayonlari ustunligini, yuqori haroratlarda esa uglerodlanish va inert muhitda karbonlashish jarayonlari ustun bo‘lishini ko‘rsatadi.

Shuningdek, 900 °C da eng past massa yo‘qotilish farqi qayd etilgani, yuqori haroratlarda asosiy uchuvchi komponentlar to‘liq chiqib ketgani va massa yo‘qotilish jarayoni deyarli muvozanat holatiga yaqinlashganini bildiradi. Demak, kungaboqar qobig‘ining termik ishlov berish jarayonida vaqt omili past haroratlarda muhim rol o‘ynasa-da, yuqori haroratlarda uning ta‘siri kamayib, jarayon asosan haroratning o‘ziga bog‘liq bo‘ladi.

3.2 Termik tahlil (TGT/DTT) natijalari

Kungaboqar qobig‘i namunasi ustida o‘tkazilgan differensial termik tahlil (DTT) va termogravimetrik tahlil (TGT) natijalari 2-rasmda keltirilgan. Ushbu termik tahlillar namunadagi issiqlik ta’sirida sodir bo‘ladigan fizik-kimyoviy o‘zgarishlarni baholash va uning termik barqarorligini aniqlash imkonini beradi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Kungaboqar qobig‘ining termogrammasi.

Termik parchalanish 3 bosqichda amalga oshgan (2-jadval).

2-jadval.

Kungaboqar qobig‘ining termik parchalanish bosqichlari

Bosqich	Harorat (°C)	Davomiylik (min)	Massaning kamayishi mg, (%)
1	11.5 °C – 450.08	0.00 – 45.53	–0.936, (75,545)
2	450.08 °C – 721.03	45.53 – 73.37	–0.186, (15,012)
3	721.03 °C – 1001.78	73.37 – 102.50	–0.129, (10,412)

1-bosqichda 11.5 °C - 450.08 °C harorat, davomiylik 0 dan 45.53 daqiqa oralig‘ida 75.545% massa yoqotildi. Bu bosqichda asosiy massa yo‘qotilishi kuzatildi. DTA chizig‘ida bu bosqichga mos keladigan endotermik hodisa (pastga cho‘qqi) mavjud – bu issiq yutilishini, ya'ni parchalanish jarayonini bildiradi.

2-bosqichda 450.08 °C - 721.03°C harorat, davomiylik 45.53 min - 73.37 daqiqa oralig‘ida 15.012% massa yoqotildi. DTAda sezilarli cho‘qqi yo‘q, bu jarayonning uncha kuchli termik effektga ega emasligini bildiradi.

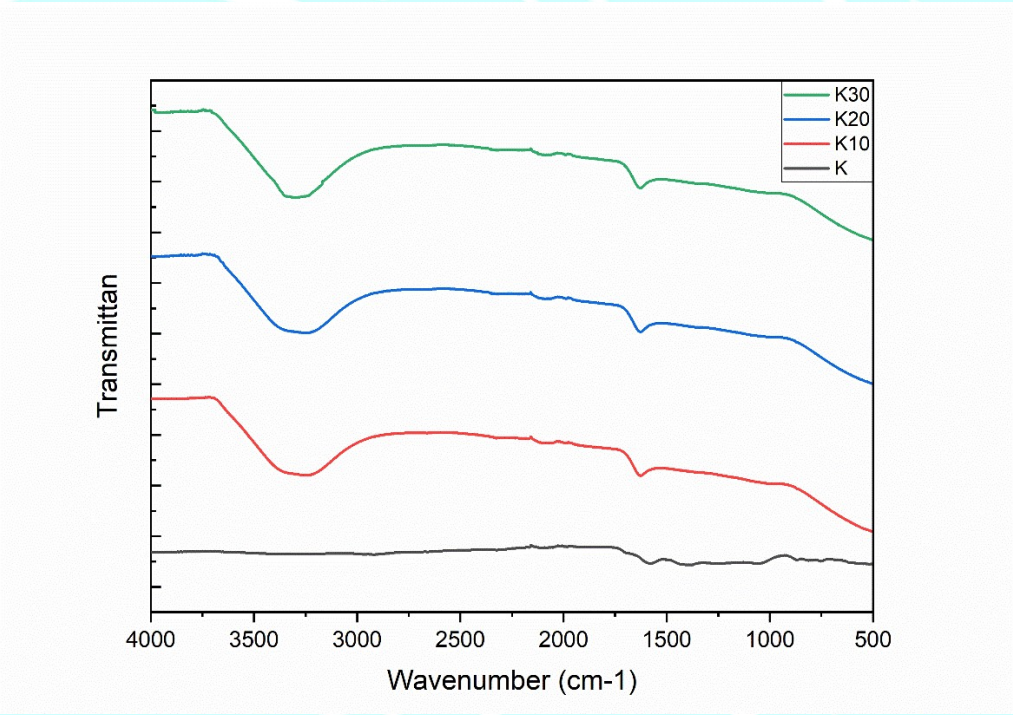
3-bosqichda 721.03 °C - 1001.78 °C harorat, davomiylik 73.37 min - 102.50 daqiqa oralig‘ida 10.412% massa yoqotildi. DTA chizig‘ida biroz ekzotermik cho‘qqi bor - bu yonish hodisasiga mos keladi.

3.3 Infraqizil (FTIQ) spektrasko‘pik tahlil.

Kungaboqar qobig‘idan olingan termik va KOH bilan kimyoviy faollashtirilgan namunalar sirtining funksional tarkibini aniqlash maqsadida FTIR tahlili o‘tkazildi (3-rasm). FTIR spektrlarida 4000–500 sm^{-1} diapazonda asosiy

ISSN 3030-3907

xarakterli cho‘qqilar kuzatildi. Termik faollashtirilgan namunaga (K) nisbatan KOH eritmasi bilan faollashtirilgan namunalar (K10, K20, K30) spektrlarida sezilarli o‘zgarishlar aniqlandi.



2-rasm. Olingan namunalarning IQ spektrlari

2-rasmda ifodalangan spektrlardan shuni ko‘rishimiz mumkinki, 3100–3400 sm^{-1} oralig‘ida kuzatilgan keng va intensiv cho‘qqi (markazi ≈3300 sm^{-1}) gidroksil (–OH) guruhining valent tebranishlariga xos bo‘lib, u fenol –OH guruhlari hamda sirtga adsorbsiyalangan suv molekulalari bilan bog‘liqdir. KOH konsentratsiyasi ortishi bilan bu cho‘qqining intensivligi oshgani kuzatildi, bu esa sirt oksidlanish markazlari - gidroksil va karboksil guruhlarining ko‘payganini ko‘rsatadi. 1640 sm^{-1} atrofida joylashgan tor cho‘qqi karbonil (C=O) bog‘lanishiga xos bo‘lib, karboksil yoki o‘zaro bog‘langan karbonil guruhlarining valent tebranishlarini bildiradi. Ushbu cho‘qqi KOH bilan faollashtirilgan namunalar spektrida termik faollashtirilgan namunaga nisbatan ancha kuchli ko‘rinadi. Bu holat faollashtirish jarayonida sirt strukturasida kislorod saqlovchi funksional guruhlarning hosil bo‘lganidan dalolat beradi. FTIR spektrlari KOH eritmasining konsentratsiyasi ortgan sari (10 → 20 → 30%) uglerod sirtining funksionallashuvi kuchayganini ko‘rsatadi. Ya’ni, faollashtirish natijasida sirtning qutbliligi ortadi, gidroksil va karbonil guruhlar soni ko‘payadi va bu esa materialning adsorbsion xususiyatlarini yaxshilashga olib keladi.

XULOSA

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida kungaboqar qobig‘ining termik parchalanish jarayoni, uning issiqlikka barqarorligi va faol uglerodli material olishdagi imkoniyatlari aniqlab berildi. Piroliz jarayonining 400–900 °C oralig‘ida olib borilishi natijasida xom ashyoning uchuvchi komponentlari bosqichma-

ISSN 3030-3907

bosqich chiqib ketgani va 700 °C dan yuqori haroratlarda parchalanish jarayoni muvozanat holatiga yaqinlashgani kuzatildi. Termik ishlov berish davomiyligi past haroratlarda sezilarli ta’sir ko‘rsatgan bo‘lsa, yuqori haroratlarda bu ta’sir nisbatan kamaygani jarayonning asosan haroratga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Termogravimetrik (TGA/DTA) tahlillar kungaboqar qobig‘ining parchalanish bosqichlari, issiqlikka chidamliligi va uglerod qoldig‘ining hosil bo‘lish jarayonini aniq ko‘rsatdi. Infraqizil (FTIR) tahlil natijalari esa KOH bilan kimyoviy faollashtirilgan namunalar sirtida gidroksil va karbonil guruhlarining ko‘payganini aniqlab berdi. Bu holat sirtning qutbliligi ortganini va adsorbsion faollik yaxshilanganini bildiradi. KOH konsentratsiyasi ortgan sari sirt funksional guruhlari sonining ko‘payishi kuzatildi, bu esa faol uglerodning fizik-kimyoviy xususiyatlarini yanada yaxshilaydi.

Umuman olganda, kungaboqar qobig‘i arzon, qayta tiklanuvchi va ekologik toza xom ashyo sifatida yuqori uglerodli material olish uchun istiqbolli manba ekanligi isbotlandi. Olingan natijalar biomassa asosida faol uglerod ishlab chiqish texnologiyalarini takomillashtirish hamda ularni suvni tozalash, gaz adsorbsiyasi va energiya saqlash tizimlarida qo‘llash imkoniyatlarini kengaytiradi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Apaydın Varol, E., & Varol, H. A. (2023). TGA-FTIR Analysis of Biomass Samples Based on the Main Components: Olive Pomace, Sunflower Waste, Pinecone. Energies.
2. Mishra, A., et al. (2023). A comparative study on pyrolysis kinetics of little millet and sunflower stem biomass.
3. Islamova, S., et al. (2023). A Comprehensive Study on the Combustion of Sunflower Residues. MDPI – Agriculture. Kluska, J., et al. (2024). Characterization of Sunflower Waste Carbonization. Sustainability, 16(24).
4. The Role of Volatile Components in the Process of Thermal Destruction and Ignition of the Sunflower Husk Biomass. (2022). INMATEH – Agricultural Engineering.

ISSN 3030-3907