

**CHIQUINDI SHINALARDAN BIOBENZOL (BENZOL FRAKSIYASI) OLIISH:
PIROLIZ VA KATALITIK AROMATIZATSIYA ASOSIDA YUQORI
QIYMATLI MAHSULOTLAR SINTEZI**

Ergashova Sarvinoz Bahodir qizi

Ergashova.sarvinoz0407@gmail.com

Jaylovova Rayhona Musurmon qizi

jaylovovarayhona@gmail.com

Usanova Farzona Beknazar qizi

Termiz davlat universiteti talabalari

Annotatsiya: Chiqindi shinalar tarkibida yuqori uglerod ulushiga ega elastomerlar, aromatik plastifikatorlar hamda uglerod qora mavjudligi ularni aromatik uglevdorodlar, xususan benzol fraksiyasi olish uchun muhim ikkilamchi xomashyo sifatida ko'rsatadi. Ushbu maqolada chiqindi shinalardan biobenzol olishning ilmiy asoslari, jarayonning termodinamik va kinetik xususiyatlari, termik piroliz hamda zeolitli katalizatorlar ishtirokidagi katalitik piroliz mexanizmlari, BTX (benzol–toluol–ksilen) fraksiyasining hosil bo'lish yo'llari, oltingugurtli ifloslanish muammosi, gidrotozalash (HDS) va adsorbsion tozalash texnologiyalari, mahsulot sifatini baholash usullari hamda ekologik-iqtisodiy samaradorlik keng yoritildi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, HZSM-5, HY va HBeta kabi zeolit katalizatorlar olefinlar va dienlarning aromatizatsiyasini jadallashtirib, benzol selektivligini oshiradi. Metall modifikatsiyalangan katalizatorlar (Ni, Mo, Fe) dehidrogenatsiya jarayonlarini kuchaytirib, benzol fraksiyasining ulushini ko'paytiradi. Jarayonni optimallashtirish, katalizator regeneratsiyasi hamda ikki bosqichli reaktor konfiguratsiyalari chiqindi shinalardan yuqori qo'shimcha qiymatli aromatik platforma kimyoviy moddalar olish uchun istiqbolli yechim hisoblanadi.

Kalit so'zlar: chiqindi shina, termik piroliz, katalitik piroliz, aromatizatsiya, benzol, BTX, zeolit katalizator, HZSM-5, gidrotozalash, barqaror kimyo.

Kirish: Dunyo miqyosida chiqindi shinalar muammosi sanoat ekologiyasi va resurslar aylanishi nuqtayi nazaridan tobora dolzarb bo'lib bormoqda. Shina ishlab

chiqarish hajmi ortishi bilan bir qatorda, xizmat muddati tugagan shinalar (end-of-life tires, ELT) miqdori ham keskin ko'paymoqda. Poligonlarda to'planish, nazoratsiz yonish yoki samarasiz utilizatsiya shinalarni global ekologik xavf omiliga aylantiradi. Shinalar yong'inida dioksinlar, furanlar, PAH (politsiklik aromatik uglevodorodlar), og'ir metall birikmalari va ko'p miqdorda qattiq zarrachalar ajraladi. Bundan tashqari, shinalar poligonlarda yig'ilishi suv va tuproqning organik ifloslanishiga, mikroplastiklarning tarqalishiga ham sabab bo'lishi mumkin.

Boshqa tomondan, shinalar tarkibida 60–70% gacha uglerodga boy organik polimerlar bo'lib, ular termokimyoviy qayta ishlash orqali yoqilg'i fraksiyalari va kimyoviy platforma mahsulotlariga aylantirilishi mumkin. Ayniqsa benzol, toluol va ksilen (BTX) kabi aromatik uglevodorodlar yuqori iqtisodiy qiymatga ega. Benzol kimyo sanoatida fenol, anilin, siklogeksan, etilbenzol, stiren, kaprolaktam va polimerlar ishlab chiqarishning asosiy xomashyosi hisoblanadi.

Shu sababli chiqindi shinalardan benzol fraksiyasini olish ikki maqsadni bir vaqtda amalga oshiradi: ekologik muammoni kamaytiradi (chiqindini resursga aylantirish), neft-kimyoy tarmog'ida aromatik xomashyo manbaini diversifikatsiya qiladi.

Chiqindi shinalarning tarkibi va termokimyoviy konversiya uchun xomashyo sifatidagi afzalligi: Chiqindi shinalar murakkab kompozit material bo'lib, ularning kimyoviy tarkibi shina turi (yengil avtomobil, yuk mashinasi yoki sanoat shinalari) hamda ishlab chiqaruvchi texnologiyasiga qarab farqlanadi. Shina tarkibi odatda bir nechta asosiy komponentlardan iborat bo'lib, ularning har biri shinning mexanik xususiyatlarini ta'minlash bilan birga, termokimyoviy qayta ishlash (piroliz) jarayonida mahsulotlar hosil bo'lishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Elastomerlar — shinning asosiy polimer qismi bo'lib, elastiklik va deformatsiyaga chidamlilikni ta'minlaydi. Ular tabiiy kauchuk (NR) va sintetik kauchuklar (SBR, BR, NBR) ko'rinishida uchraydi. Ayniqsa SBR (stiren-butadien kauchuk) tarkibida aromatik tabiatli fragmentlar bo'lgani sababli piroliz jarayonida benzol va boshqa aromatik uglevodorodlar hosil bo'lishiga yuqori moyillik ko'rsatadi.

Uglerod qora (carbon black) — shinning mustahkamligi va aşinishga chidamliligini oshiruvchi to'ldiruvchi komponent hisoblanadi. U pirolizdan so'ng qattiq qoldiq tarkibida qoladi va ikkilamchi xomashyo sifatida (rezina, bo'yoq, polimer kompozitlar ishlab chiqarishda) qayta ishlatilishi mumkin.

Plastifikatorlar — shina massasini yumshatish, ishlov berishni yengillashtirish va elastiklikni oshirish uchun qo‘shiladigan organik moddalar bo‘lib, ko‘pincha aromatik moylar shaklida bo‘ladi. Ular pirolizda suyuq mahsulot tarkibini boyitib, BTX fraksiyasi (benzol–toluol–ksilen) hosil bo‘lishiga hissa qo‘shadi.

Vulkanizatsiya agentlari — shina polimer zanjirlarini bir-biri bilan bog‘lab, issiqqa chidamli va mustahkam tarmoq struktura hosil qiluvchi moddalar hisoblanadi. Bunda oltingugurt (S), rux oksidi (ZnO) va stearin kislotasi kabi qo‘shimchalar qo‘llanadi. Ushbu komponentlar piroliz moyida oltingugurtli birikmalar paydo bo‘lishiga sabab bo‘lib, benzol fraksiyasini sanoat standartiga olib chiqishda tozalash bosqichlarini majburiy qiladi.

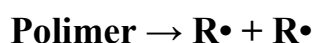
Antioksidantlar va stabilizatorlar — shinaning qarishini sekinlashtiruvchi, oksidlanish jarayonini cheklovchi kimyoviy qo‘shimchalar bo‘lib, odatda aminlar va fenollar sinfiga mansub moddalar hisoblanadi. Ular pirolizda azotli va kislorodli organik birikmalar hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin.

Armatura (metall simlar va tekstil tolalar) — shinaning karkas qismi bo‘lib, mexanik yuklama va bosimga chidamlilikni oshiradi. Piroliz jarayonida armatura ajratib olinadi va metall resurs sifatida qayta ishlashga yuboriladi.

Yuqoridagi tarkib shinalarni termokimyoviy konversiya uchun juda qulay xomashyo qiladi. Chunki shinalarda uglerod miqdori yuqori bo‘lib, energiya sig‘imi katta va polimer zanjirlar piroliz sharoitida olefinlar hamda dienlar hosil qilib, keyinchalik aromatik mahsulotlarga aylanish imkoniyatiga ega.

Benzol hosil bo‘lishining kimyoviy mexanizmlari: Chiqindi shinalardan benzol hosil bo‘lish jarayoni asosan piroliz jarayonidagi murakkab termokimyoviy reaksiyalar bilan izohlanadi. Ushbu jarayonning kimyoviy mohiyati polimer zanjirlarining parchalanishi va oraliq fragmentlarning aromatizatsiya reaksiyalariga kirishishi bilan bog‘liq.

Termik parchalanish (radikal mexanizm) — pirolizning birlamchi bosqichi bo‘lib, yuqori harorat ta’sirida polimer zanjiri uziladi va erkin radikallar hosil bo‘ladi:



Bu radikallar keyingi bosqichlarda: β -parchalanish (zanjirning qismlarga ajralishi),

vodorod ko‘chishi (H-atomlar migratsiyasi), radikal rekombinatsiya (radikallarning birikishi) reaksiyalarini boshlab beradi. Natijada C_2 – C_{10} oralig‘ida olefinlar, dienlar, alkanlar hamda aromatik uglevodorodlar hosil bo‘ladi.

Aromatizatsiya — olefin va dienlarning sikllanishi hamda dehidrogenatsiyasi orqali aromatik halqa (benzol yadrosi) hosil bo‘lish jarayonidir. Benzol hosil bo‘lishi odatda ikki asosiy yo‘l bilan sodir bo‘ladi:

C_6 oraliq fragmentlarning siklizatsiyasi — masalan, heksatrien yoki heksen kabi olti uglerodli fragmentlar halqaga aylanib, benzolga yaqin strukturani hosil qiladi.

Olefinlarning katalitik aromatizatsiyasi — propilen, buten va penten kabi olefinlar zeolit katalizatori yuzasida avval oligomerlanadi, keyin sikllanadi va dehidrogenatsiya orqali benzol va boshqa yengil aromatiklarga aylanadi.

Zeolit katalizatorlarining roli — benzol selektivligini oshiruvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Masalan, HZSM-5 zeoliti kuchli Brønsted kislotasidagi markazlariga hamda mikro-g‘ovakli tuzilishga ega bo‘lib, reaksiyani yengil aromatiklar (benzol, toluol, ksilen) hosil bo‘lish yo‘nalishiga buradi. Bunda og‘ir smola va PAH hosil bo‘lishi nisbatan cheklanadi.

Termik piroliz: jarayon parametrlari va mahsulot taqsimoti: Piroliz — kislorodsiz muhitda organik materiallarni termik parchalanishga uchratish jarayoni bo‘lib, chiqindi shinalarni qayta ishlashning eng samarali termokimyoviy usullaridan biridir. Piroliz natijasida uch xil asosiy mahsulot olinadi:

Suyuqlik (piroliz moyi) — aromatik va alifatik uglevodorodlardan iborat bo‘lib, benzol fraksiyasi olish uchun asosiy manba hisoblanadi.

Gaz — H_2 , CH_4 , C_2 – C_4 uglevodorodlar aralashmasi bo‘lib, jarayonni isitish uchun yoqilg‘i sifatida ishlatiladi.

Qattiq qoldiq — asosan carbon black, ZnO, kul va metall qoldiqlaridan iborat bo‘ladi.

Haroratning ta‘siri piroliz mahsulotlarining sifat va miqdoriga hal qiluvchi ta‘sir ko‘rsatadi. Past haroratlarda suyuqlik ko‘p bo‘lsa ham aromatiklar ulushi past bo‘ladi, yuqori haroratlarda esa aromatiklar, ayniqsa benzol ulushi ortadi. Amaliy jihatdan benzol fraksiyasi olish uchun optimal harorat diapazoni odatda 500–600°C hisoblanadi.

Isitish tezligi va reaktor turi ham benzol selektivligiga ta'sir qiladi. Tez isitish va qisqa kontakt vaqti benzolning og'ir smola mahsulotlariga aylanib ketishini kamaytiradi. Shu sababli aylanma qatlamli (fluidized-bed) yoki shnekli (auger) reaktorlar benzolga boy fraksiya olishda ko'proq qo'llanadi.

Katalitik piroliz: benzol selektivligini oshirish strategiyasi: Katalitik piroliz — termik pirolizdan farqli ravishda, maxsus katalizatorlar ishtirokida olib boriladigan jarayon bo'lib, benzol va boshqa aromatik uglevodorodlar hosil bo'lishini kuchaytiradi. Katalizatorlar olefinlar va dienlarni aromatiklarga aylantirishni tezlashtiradi, og'ir PAH hosil bo'lishini kamaytiradi va mahsulot tarkibini maqsadli boshqarishga imkon beradi.

Zeolit katalizatorlar (HZSM-5, HY, HBeta) aromatizatsiya jarayonida eng samarali katalizatorlar hisoblanadi. HZSM-5 benzol va toluol selektivligini kuchli oshiradi, HY esa ko'proq ksilenlar hosil bo'lishiga moyil. HBeta aromatik mahsulotlarning muvozanatini yaxshilab, koks hosil bo'lishini nisbatan pasaytiradi.

Metall-zeolit katalizatorlar — zeolitning kislotalilik xususiyatini metallarning dehidrogenatsiya faolligi bilan birlashtiradi. Ni, Mo, Fe, Co kabi metall qo'shimchalar dehidrogenatsiyani kuchaytirib, aromatik halqa hosil bo'lishini tezlashtiradi va benzol ulushini oshiradi. Masalan, Ni/HZSM-5 benzol selektivligi bo'yicha eng istiqbolli kombinatsiyalardan biri hisoblanadi.

Jarayonning kinetik va termodinamik jihatlari: Chiqindi shina pirolizi ko'p bosqichli jarayon bo'lib, unda birlamchi parchalanishdan tashqari ikkilamchi kraking va aromatizatsiya reaksiyalari ham sodir bo'ladi. Jarayon kinetik jihatdan Arrhenius tenglamasi bilan tavsiflanadi, bunda katalizator ishlatilishi aktivatsiya energiyasini kamaytiradi va aromatizatsiya tezligini oshiradi.

Termodinamik nuqtayi nazardan aromatik halqa hosil bo'lishi yuqori haroratda qulay, biroq benzolning reaktorda uzoq vaqt qolishi kraking yoki og'ir aromatiklarga kondensatsiya jarayonlarini kuchaytirishi mumkin. Shu sababli optimal harorat, minimal kontakt vaqti va tez kondensatsiya benzol selektivligini saqlab qolish uchun muhim shart hisoblanadi.

Benzol fraksiyasini ajratib olish va tozalash: Piroliz moyi murakkab aralashma bo'lgani uchun benzol fraksiyasi asosan fraksion distillatsiya orqali ajratib olinadi. Benzolga boy fraksiya odatda 30–90°C oralig'ida olinadi, undan keyingi fraksiyalar toluol va ksilenlarga to'g'ri keladi.

Biroq shinalar tarkibidagi oltingugurt sababli piroliz moyida tiollar, sulfidlar, tiofenlar va benzotiofenlar kabi oltingugurtli birikmalar bo'lishi mumkin. Bu benzol fraksiyasining sanoat sifatiga mos kelishini cheklaydi.

Shuning uchun gidrotozalash (HDS) qo'llanadi. HDS jarayonida oltingugurtli birikmalar vodorod bilan reaksiyaga kirishib, H_2S ko'rinishida ajraladi va benzol fraksiyasi tozalanadi. Bunda $Co-Mo/Al_2O_3$ yoki $Ni-Mo/Al_2O_3$ katalizatorlari ishlatiladi.

Qo'shimcha ravishda adsorbsiya (aktiv ko'mir, Al_2O_3 , zeolitlar) hamda selektiv ekstraksiya (sulfolan, NMP) usullari benzol fraksiyasining sifatini yanada oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Xulosa: Chiqindi shinalardan biobenzol olish termik piroliz va katalitik aromatizatsiya asosida amalga oshiriladigan yuqori samarali resurs qayta ishlash texnologiyasi hisoblanadi. Zeolit katalizatorlar (HZSM-5, HY, HBeta) hamda metall modifikatsiyalangan katalizatorlar (Ni, Mo, Fe) benzol selektivligini oshirib, BTX fraksiyasining umumiy chiqishini ko'paytiradi. Fraksion distillatsiya va gidrotozalash bosqichlari mahsulotni sanoat standartiga olib chiqishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ushbu texnologiya chiqindilarni kamaytirish, neft-kimyxo xomashyosi manbaini kengaytirish hamda barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda istiqbolli yo'nalishdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Williams P.T. Pyrolysis of waste tyres: A review. *Waste Management*, 2013.
2. Antoniou N., Zabaniotou A. Features of an efficient and environmentally attractive used tyres pyrolysis with energy and material recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013.
3. Ucar S., Karagoz S. The slow pyrolysis of scrap tyres in a fixed-bed reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2009.
4. Zhang X., Lei H., Zhu L. Catalytic pyrolysis of waste tires for aromatic hydrocarbons production over zeolite catalysts. *Fuel Processing Technology*, 2016.
5. Mikulová Z., et al. Upgrading of pyrolysis oil from waste tires using hydrodesulfurization. *Energy & Fuels*, 2019.
6. Olazar M., et al. Catalytic conversion of waste rubber to BTX. *Chemical Engineering Journal*, 2020.
7. López G., et al. Thermochemical routes for the valorization of waste polymers into fuels and chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.