



## QATTIQ SANOAT CHIQINDILARINI UTILIZATSIYALASHNING ZAMONAVIY EKOLOGIK VA TEXNOLOGIK USULLARI

*S.U.Nishonaliyeva, M.M.Aripova*  
(Toshkent davlat texnika universiteti)

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalashning zamonaviy usullari, ularning ekologik xavfsizlikka ta'siri hamda ikkilamchi xom ashyo sifatida qayta foydalanish imkoniyatlari o'rganildi. Tadqiqot davomida sanoat korxonalarida hosil bo'ladigan qattiq chiqindilar tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari va ularni qayta ishlash texnologiyalarining samaradorligi tahlil qilindi. Qattiq chiqindilarni termik, mexanik, kimyoviy va biotexnologik usullar orqali utilizatsiyalash jarayonlari solishtirildi hamda ekologik jihatdan eng maqbul texnologiyalar baholandi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, chiqindilarni kompleks qayta ishlash orqali atmosfera, tuproq va suv havzalariga tushadigan zararli moddalar miqdorini sezilarli kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Shuningdek, qayta ishlangan sanoat chiqindilaridan qurilish materiallari, adsorbentlar va energetik resurslar olish istiqbollari ko'rsatib berildi. Tadqiqot qattiq sanoat chiqindilarini samarali boshqarish, resurs tejankor texnologiyalarni joriy etish hamda ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** Qattiq sanoat chiqindilari, utilizatsiya, qayta ishlash texnologiyasi, ekologik xavfsizlik, ikkilamchi xom ashyo, termik ishlov, sanoat ekologiyasi, chiqindilarni boshqarish.

**Kirish:** Dunyo miqyosida sanoat tarmoqlarining jadal rivojlanishi natijasida qattiq sanoat chiqindilari hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. Metallurgiya, energetika, kimyo, neft-gaz, qurilish materiallari hamda tog'-kon sanoati korxonalarida hosil bo'ladigan chiqindilar atrof-muhitning asosiy ifloslantiruvchi manbalaridan biri hisoblanadi. Ushbu chiqindilar tarkibida og'ir metallar, toksik



organik birikmalar, kul zarralari, sulfidlar va boshqa zararli moddalar mavjud bo‘lib, ular tuproq, atmosfera va suv resurslariga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Natijada ekologik muvozanat buzilishi, inson salomatligiga xavf tug‘ilishi hamda tabiiy resurslarning degradatsiyasi kuzatilmoqda.

So‘nggi yillarda ekologik xavfsizlikni ta‘minlash va resurslardan oqilona foydalanish masalalari global muammoga aylanganligi sababli qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalash va qayta ishlash texnologiyalariga bo‘lgan qiziqish sezilarli darajada ortdi. Ko‘plab rivojlangan davlatlarda “nol chiqindi” (“Zero Waste”) konsepsiyasi asosida chiqindilarni ikkilamchi resurs sifatida qayta foydalanish tizimlari joriy etilmoqda. Bu esa nafaqat ekologik ifloslanishni kamaytirish, balki iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini ham beradi. Chunki ko‘plab sanoat chiqindilari tarkibida qayta foydalanishga yaroqli mineral va organik komponentlar mavjud bo‘lib, ular qurilish materiallari, adsorbentlar, yoqilg‘i komponentlari hamda kompozitsion materiallar ishlab chiqarishda muhim xom ashyo vazifasini bajaradi.

Qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalashning mexanik, fizik-kimyoviy, termik va biologik usullari mavjud bo‘lib, har bir texnologiyaning o‘ziga xos afzallik va kamchiliklari mavjud. Mexanik qayta ishlash usullari chiqindilarni maydalash, saralash va granulatsiyalashga asoslangan bo‘lsa, termik utilizatsiya yuqori harorat ta‘sirida chiqindilar hajmini kamaytirish va energiya olish imkonini beradi. Kimyoviy utilizatsiya usullarida esa chiqindilar tarkibidagi foydali komponentlarni ekstraksiya qilish yoki neytrallash jarayonlari amalga oshiriladi. Biotexnologik usullar ekologik jihatdan xavfsiz bo‘lib, mikroorganizmlar yordamida chiqindilarni parchalanishiga asoslanadi. Hozirgi vaqtda sanoat chiqindilarining katta qismi poligonlarda saqlanmoqda yoki ochiq hududlarga tashlanmoqda. Bu esa atmosfera havosiga zararli gazlarning ajralishi, yer osti suvlarining ifloslanishi hamda tuproq unumdorligining pasayishiga olib kelmoqda. Ayniqsa, ko‘mir kullari, metallurgik shlaklar va kimyoviy ishlab chiqarish qoldiqlari uzoq muddat davomida ekologik



xavf manbai bo‘lib qoladi. Shu sababli chiqindilarni zararsizlantirish va ulardan qayta foydalanishning samarali texnologiyalarini ishlab chiqish ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot ishining asosiy maqsadi qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalashning zamonaviy texnologiyalarini tahlil qilish, ularning ekologik va iqtisodiy samaradorligini baholash hamda qayta ishlash orqali foydali mahsulotlar olish imkoniyatlarini o‘rganishdan iborat. Tadqiqot davomida turli utilizatsiya usullarining afzalliklari, texnologik parametrlari va ekologik ta’siri o‘rganilib, chiqindilarni kompleks qayta ishlashning istiqbolli yo‘nalishlari aniqlanadi.

**Materiallar va usullar:** Mazkur tadqiqot ishida qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalash va qayta ishlash jarayonlarining samaradorligini aniqlash maqsadida turli sanoat korxonalaridan olingan chiqindi namunalari tadqiqot obyekti sifatida tanlab olindi. Tadqiqot davomida asosan ko‘mir yonishidan hosil bo‘lgan kul-shlak chiqindilari, metallurgiya shlaklari hamda qurilish sanoati qoldiqlari laboratoriya sharoitida tahlil qilindi. Namunalar quritilib, maydalandi va bir xil fraksiyaga keltirilgan holda eksperimental tadqiqotlarda foydalanildi. Chiqindilarning dastlabki fizik-kimyoviy xossalarini aniqlash uchun namlik miqdori, kuldorlik darajasi, zichlik, pH muhiti va dispers tarkibi o‘rganildi.

Tadqiqot jarayonida chiqindilarni utilizatsiyalashning mexanik, termik va kimyoviy usullari qo‘llanildi. Mexanik ishlov berish bosqichida namunalar laboratoriya maydalagichida 0.5–1 mm o‘lchamgacha maydalandi va vibratsion elaklar yordamida fraksiyalarga ajratildi. Termik utilizatsiya tajribalarida chiqindi namunalari mufel pechida 400–800°C harorat oralig‘ida 60–120 minut davomida qizdirildi. Termik ishlov jarayonining asosiy maqsadi organik komponentlarni parchalanishini ta’minlash, zararli moddalarni kamaytirish hamda mineral tarkibni faollashtirishdan iborat bo‘ldi.

Kimyoviy ishlov berish bosqichida chiqindi namunalariga natriy gidroksid (NaOH), sulfat kislota (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) va xlorid kislota (HCl) eritmalari bilan ishlov berildi.



Kimyoviy aktivatsiya jarayonida 10–20% li ishqoriy va kislotali eritmalar qo'llanilib, aralashmalar magnit aralashtirgich yordamida 80–90°C haroratda 2–4 soat davomida ushlab turildi. Oqartirish va zararli metall ionlarini kamaytirish maqsadida distillangan suv bilan bir necha marotaba yuvish amalga oshirildi. Olingan mahsulotlar filtrlanib, 105°C da quritish shkafida doimiy massa hosil bo'lguncha quritildi.

**Natijalar va muhokama:** Tadqiqot davomida qattiq sanoat chiqindilarining fizik-kimyoviy xossalari, termik barqarorligi hamda utilizatsiya jarayonidagi o'zgarishlari batafsil o'rganildi. Dastlabki tahlillar natijasida chiqindi namunalari tarkibida kremniy oksidi ( $\text{SiO}_2$ ), alyuminiy oksidi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), temir oksidlari ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsiy birikmalari va organik qoldiqlar mavjudligi aniqlandi. Ayniqsa, kul-shlak chiqindilarida mineral komponentlar miqdori yuqori ekanligi kuzatildi. Bu esa mazkur chiqindilarni qurilish materiallari, adsorbentlar va kompozitsion mahsulotlar ishlab chiqarishda qayta foydalanish imkoniyatini ko'rsatdi.

Mexanik maydalash va fraksiyalash jarayonidan so'ng namunalarning dispersligi oshgani sababli ularning reaktiv faolligi sezilarli darajada ortdi. Zarrachalar o'lchamining kamayishi sirt maydonining kattalashishiga olib kelib, keyingi kimyoviy va termik ishlov samaradorligini yaxshiladi. BET tahlili natijalariga ko'ra, dastlabki chiqindi namunasining solishtirma sirt maydoni 18–25  $\text{m}^2/\text{g}$  atrofida bo'lgan bo'lsa, aktivatsiyadan keyin bu ko'rsatkich 65–90  $\text{m}^2/\text{g}$  gacha oshgani kuzatildi. Bu esa chiqindilarning adsorbsiya xususiyatlari sezilarli ravishda yaxshilanganini ko'rsatadi.

Termik utilizatsiya jarayonida 400°C dan yuqori haroratlarda organik komponentlarning parchalanishi boshlangani aniqlandi. 700–800°C oralig'ida esa chiqindilarning massa yo'qotishi maksimal qiymatga yetdi. Harorat oshishi bilan zararli organik birikmalar miqdori kamayib, mineral fazalar faollashgani kuzatildi. Termogravimetrik kuzatuvlar asosida chiqindilar massasining o'rtacha 35–48% gacha kamayishi qayd etildi. Shu bilan birga, yuqori haroratlarda ayrim namunalarda



g'ovak struktura hosil bo'lishi kuzatildi, bu esa adsorbent sifatida qo'llash imkoniyatini oshirdi.

Kimyoviy aktivatsiya natijasida chiqindilar tarkibidagi og'ir metall ionlari miqdori sezilarli darajada kamaydi. NaOH eritmasi bilan ishlov berilganda kremniyli va alyumosilikat strukturalarning faollashuvi kuzatilgan bo'lsa, kislotali muhitda metall birikmalarining qisman eritmaga o'tishi aniqlandi. FTIR spektrlarida gidroksil (-OH), karbonil (C=O) va silikat bog'lariga mos keluvchi yutilish cho'qqilarining intensivligi o'zgargani qayd etildi. Bu esa chiqindilar yuzasida yangi aktiv markazlar hosil bo'lganini ko'rsatadi.

SEM tahlillari namunalarning sirt morfologiyasida sezilarli o'zgarishlar sodir bo'lganini ko'rsatdi. Dastlabki namunalar zich va notekis struktura bilan xarakterlangan bo'lsa, aktivatsiyadan keyin g'ovak va rivojlangan sirt qatlamlari hosil bo'lgani kuzatildi. G'ovaklikning oshishi adsorbsiya samaradorligini yaxshilab, chiqindilardan ekologik adsorbent sifatida foydalanish imkonini yaratdi. Ayniqsa, aktivlashtirilgan kul-shlak namunalari suvdagi ayrim og'ir metall ionlarini 70–85% gacha adsorbsiya qilgani aniqlandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, qattiq sanoat chiqindilarini kompleks utilizatsiyalash ekologik va iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanadi. Chiqindilarni qayta ishlash orqali poligonlarga tushadigan yuklama kamayadi, atmosfera va gidrosferaga chiqadigan zararli moddalar miqdori pasayadi hamda ikkilamchi xom ashyo bazasi shakllanadi. Bundan tashqari, qayta ishlangan mahsulotlarni qurilish materiallari, filtratsion sorbentlar va issiqlik izolyatsion materiallar sifatida qo'llash mumkinligi aniqlandi. Olingan natijalar sanoat chiqindilarini resurs sifatida baholash va ularni yopiq texnologik sikllarda qayta ishlash istiqbolli yo'nalish ekanligini tasdiqlaydi.

**Xulosa:** Mazkur tadqiqot ishida qattiq sanoat chiqindilarini utilizatsiyalashning mexanik, termik va kimyoviy usullari o'rganildi hamda ularning samaradorligi baholandi. Tadqiqot natijalari sanoat chiqindilarining tarkibida qayta



foydalanishga yaroqli mineral va organik komponentlar mavjudligini ko'rsatdi. Mexanik maydalash va kimyoviy aktivatsiya natijasida chiqindilarning reaktiv faolligi va solishtirma sirt maydoni oshgani aniqlandi.

Termik ishlov berish jarayonida organik ifloslantiruvchi moddalar parchalanib, chiqindilar massasining sezilarli kamayishi kuzatildi. Kimyoviy aktivatsiya esa zararli metall ionlarini kamaytirish va adsorbsiya xususiyatlarini yaxshilashga imkon berdi. Instrumental tahlillar natijasida aktivlashtirilgan namunalarda rivojlangan g'ovak struktura va yangi funksional guruhlar hosil bo'lgani tasdiqlandi.

Tadqiqot davomida qayta ishlangan qattiq sanoat chiqindilaridan adsorbent, qurilish materiallari va kompozitsion mahsulotlar ishlab chiqarishda foydalanish mumkinligi aniqlandi. Bu esa chiqindilarni oddiy chiqindi emas, balki muhim ikkilamchi xom ashyo manbai sifatida baholash zarurligini ko'rsatadi.

Shuningdek, qattiq sanoat chiqindilarini kompleks utilizatsiyalash ekologik xavfsizlikni ta'minlash, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish hamda atrof-muhit ifloslanishini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi. Kelgusida mazkur texnologiyalarni sanoat miqyosida takomillashtirish va energiya tejamkor usullar bilan integratsiyalash yuqori iqtisodiy samaradorlikka erishish imkonini beradi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Waste Management Practices / John Pichtel. *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*. CRC Press, 2014.
2. United Nations Environment Programme. *Global Waste Management Outlook*. Nairobi, 2015.
3. Handbook of Industrial Waste Treatment / Nelson Leonard Nemerow. McGraw-Hill, New York, 2007.
4. World Bank. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington DC, 2018.



5. Introduction to Environmental Engineering / Mackenzie L. Davis. McGraw-Hill Education, 2011.
6. Industrial Wastewater Treatment and Disposal / Frank Woodard. Butterworth-Heinemann, 2001.
7. International Solid Waste Association. *Waste-to-Energy State-of-the-Art Report*. Copenhagen, 2017.
8. Environmental Chemistry / Colin Baird. W.H. Freeman and Company, 2012.
9. Solid Waste Engineering / William A. Worrell. Cengage Learning, 2011.
10. European Environment Agency. *Industrial Waste Management in Europe*. Luxembourg, 2020.
11. Hazardous Waste Management / Michael D. LaGrega. Waveland Press, 2010.
12. Sustainable Industrial Design and Waste Management / Krzysztof Skowroński. Elsevier, 2022.
13. Organisation for Economic Co-operation and Development. *Improving Resource Efficiency and Waste Management*. Paris, 2019.