

OZIQ-OVQAT CHIQINDILARINI QAYTA ISHLASHNING INNOVATSION
USULLARI

Pulatova Fotima Tuychi qizi

Pulatova Zuhra Tuychi qizi

Norqulova Zoxida Tashboyevna

Sanoat texnologiyasi fakulteti dots.JizPi

Annotatsiya: Oziq-ovqat chiqindilari (OCh) global oziq-ovqat tizimining muhim muammolaridan biri bo'lib, u resurslar isrofini, atrof-muhit ifloslanishini va iqlim o'zgarishlarini kuchaytiradi. Ushbu maqolada so'nggi yillarda tadqiq etilgan va amaliyotda sinab ko'rilayotgan innovatsion qayta ishlash usullari — anaerob hazm (AD), qora askar hasharoti (Black Soldier Fly — BSF) biokonversiyasi, gidrotermal jarayonlar (HTL/HTC), yuqori qiymatli upcycling (fermentatsiya, mikroorganizmlar orqali bitta hujayrali oqsillar, bioplastiklar), ilg'or kompostlash texnologiyalari va kimyoviy/upcycling yo'llari — keng tahlil qilinadi. Har bir usulning printsiplari, afzalliklari, cheklovlari, iqtisodiy jihatlari va amaliy misollari keltiriladi. Maqola integratsiyalashgan tizimlar va siyosiy-tashkiliy takliflar bilan yakunlanadi.

Kalit so'zlar: Oziq-ovqat chiqindilari, chiqindilarni qayta ishlash, innovatsion usullar, anaerob hazm, biogaz, Black Soldier Fly (BSF), biokonversiya, gidrotermal jarayonlar (HTL/HTC), bioplastiklar, upcycling, bitta hujayrali oqsillar (SCP), kompostlash, sirkulyar iqtisodiyot, ekologik barqarorlik, resurslarni tiklash.

Abstract: Food waste (FW) is a major challenge for the global food system, contributing to resource waste, environmental pollution, and climate change. This article provides a comprehensive review of innovative recycling methods that have been studied and tested in recent years—anaerobic digestion (AD), black soldier fly (BSF) bioconversion, hydrothermal processes (HTL/HTC), high-value upcycling (fermentation, microbial single-cell proteins, bioplastics), advanced composting technologies, and chemical/upcycling pathways. The principles, advantages, limitations, economics, and practical examples of each method are presented. The article concludes with integrated systems and policy-making proposals.

Keywords: Food waste, waste recycling, innovative methods, anaerobic digestion, biogas, Black Soldier Fly (BSF), bioconversion, hydrothermal processes (HTL/HTC), bioplastics, upcycling, single-cell proteins (SCP), composting, circular economy, environmental sustainability, resource recovery.

Dunyo bo'yicha yiliga milliardlab tonnalab oziq-ovqat chiqindilari hosil bo'ladi; ularning katta qismi dehqonchilik resurslari, suv va energiyani behuda sarflashiga olib keladi hamda metan kabi kuchli issiqlik gazlari chiqarilishiga sabab bo'ladi. Shu bilan birga, OCh — biologik energiya, oziq-ovqat zanjiriga qaytadigan ozuqa moddalari va sanoat xomashyosi

manbai sifatida katta imkoniyatni o'zida mujassam etadi. Innovatsion texnologiyalar ushbu chiqindilarning qiymatini oshirish va atrof-muhit ta'sirini kamaytirish uchun muhim vositadir.

2. Anaerob hazm (Anaerobic Digestion, AD) va uning yangi yo'nalishlari:

2.1. Printsip va an'anaviy holati: AD — organik moddalarni kislorodsiz muhitda mikrobiyal fermentatsiya orqali metan va karbon dioksid (biogaz) hamda ozuqaviy digestat ishlab chiqarish jarayonidir. OCh uchun keng qo'llaniladigan yechim.

2.2. Innovatsion yo'nalishlar: Ko-hazm (co-digestion): turli chiqindilar (mas. oziq-ovqat chiqindilari + kanalizatsiya otilgan sho'rva) kombinatsiyasi metan hosil bo'lishini va protsessni barqarorlashtirishni oshiradi. Integratsiya bilan gidrotermal jarayonlar (HTL/HTC → AD): yuqori namlikdagi chiqindilarni avval HTC yoki HTL yordamida energiya zich biokarbon yoki bio-toshga aylantirish va tutash suyuq fazani ADda biogaz ishlab chiqarish uchun ishlatish samaradorlikni oshiradi. Bu yondashuv resurslarni maksimal qayta tiklashga yordam beradi. Protsess optimizatsiyasi (modelizatsiya, real-vaqt monitoring, mikrofiltratsiya): yangi sensörlar va raqamli nazorat tizimlari AD samaradorligini oshiradi va inhibitor moddalarni erta aniqlash imkonini beradi.

2.3. Afzalliklar va cheklovlar: Afzalliklari: energetik mustaqillik (biogaz), nutrientlarni tiklash (digestat), oson integratsiya. Cheklovlar: inhibitor moddalar, boshlang'ich kapital xarajatlari, akseptansiya va sanitariya talablariga javob berish zarurati.

3. Ento-biokonversiya: qora askar hasharoti (BSF) va boshqa hasharotlar:

3.1. Texnologiyaning asosiy g'oyasi: Black Soldier Fly larvae (BSFL) organik chiqindilarni tez parchalab, yuqori proteinli biomassani (larva) va frass — o'g'it sifatida foydalanish mumkin bo'lgan chiqindini hosil qiladi. Bu yo'nalish so'nggi yillarda juda ommabop bo'lmoqda.

3.2. Innovatsiyalar va amaliy misollar: Konteynerli stansiyalar va modular tizimlar: shaharlarda kichik hajmli modullar orqali maishiy chiqindilarni mahalliy qayta ishlash. (misol: Sidneydagi pilot loyiha).

Genetik va selektsion yondashuvlar: Ba'zi tadqiqotlar hasharotlarning hazm qilish qobiliyatini yaxshilash uchun selektsiya yoki genetik modifikatsiyalarni sinab ko'rmoqda — bu jarayon ishlab chiqarish tezligini va qamrovini oshirishi mumkin, biroq bioxavfsizlik va reglament masalalari muhim.

3.3. Ekologik va iqtisodiy baho: BSF tizimlari tezkor konversiya, kam joy egallashi va moslashuvchanligi bilan ajralib turadi. Ammo chiqindilar tarkibini nazorat qilish, patogenlar xavfi va hayvon yemi sifat standartlarini qondirish talab etiladi. Loyiha miqyosida ijobiy hayvon yemi va o'g'it chiqarish natijalari qayd etilgan.

4. Gidrotermal jarayonlar: HTL (Hydrothermal Liquefaction) va HTC (Hydrothermal Carbonization): HTL va HTC — yuqori namlikdagi biomasani yuqori bosim va temperaturada kimyoviy-fizikaviy ravishda qayta ishlash, natijada energiya zich bio-masse (bio-o'q, bio-tosh, bio-yoqilg'i suyuqlik) va qayta ishlanadigan suvli fraksiyalar hosil qilish

imkonini beradi. Ushbu texnologiyalar oziq-ovqat qayta ishlashdan qolgan sanitariya jihatdan qiyin chiqindilarni ham qayta ishlashga imkon beradi.

4.2. Integratsiya va samaradorlik: HTL suyuqliklarini keyinchalik ADda gazga aylantirish yoki kimyoviy upcycling uchun substrat sifatida ishlatish — resurslarni to'liqroq qayta tiklashga olib keladi. Jarayonning energiyagi balansini va iqtisodiy samaradorligini oshirish uchun issiqlikni qayta tiklash va integratsiyalashgan dizayn muhim.

5. Upcycling va yuqori qo'shilgan qiymatli mahsulotlar:

5.1. Mikroorganizmlar va bitta hujayrali oqsillar (SCP): OCh-dagi shakar va boshqa ozuqalarni fermentatsiya orqali mikrobyal biomassa (masalan Yarrowia, SCP bakteriyalari yoki xamirturushlar) aylantirish — hayvon yemi yoki oziq-ovqat qo'shimchasi sifatida foydalanish imkonini beradi. Bu yo'l protein yetkazib berishni diversifikatsiya qiladi.

5.2. Bioplastiklar (PHA, PLA va boshqalar): Agro-oziq-ovqat chiqindilaridan to'g'ri fermentatsiya va ishlab chiqarish orqali polixidrosanoat (PHA) kabi biologik parchalanadigan polimerlar olinishi mumkin. Bu atrof-muhitga zarar kamaytirish va chiqindilarning iqtisodiy qiymatini oshirish imkoniyati beradi.

5.3. Kimyoviy upcycling — kimyoviy konversiya va katalitik yo'llar: Piroliz, gidroliz, katalitik konversiya va elektrokimyoviy jarayonlar orqali oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan yuqori qiymatli kimyoviy moddalar (masalan, organik kislotalar, platforma kimyoviy moddalar, bio-havo yoqilg'i komponentlari) olinishi ustida ishlar olib borilmoqda. Biroq, energiya sarfi va katalizator xarajatlari muhim cheklovdir.

6. Ilg'or kompostlash va aerob biokonversiya texnologiyalari: In-vessel kompostlash: issiqlik va namlikni qattiq nazorat ostiga olish orqali tez, sanitariya talablariga javob beradigan kompost olish.

Mikrobiologik inokulyatsiya va turlar aralashmasi: effektiv mikroorganizmlar bilan inokulyatsiya qilish parchalanishni tezlashtiradi va hidni kamaytiradi.

Biochar integratsiyasi: kompostga biochar qo'shish suvni ushlab qolish va karbonni saqlashni yaxshilaydi. Ushbu yondashuvlar tuproq salomatligini oshirish va issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirish maqsadida qo'llanadi.

7. Integratsiyalashgan tizimlar va sirkulyar iqtisodiyot modeli: Eng samarali yechim ko'p texnologiyalarni kombinatsiyalash va logistik, ijtimoiy va siyosiy ramkalar bilan uyg'unlashtirishdan iborat. Masalan: shaharda oziq-ovqat chiqindilari birinchi bosqichda BSFga yuborilishi, keyin fraktsiyalar AD va HTL orqali energetik qayta ishlashga yo'naltirilishi mumkin. Bunday yondashuv resurslarni maksimal darajada tiklashga imkon beradi va chiqindilarni minimal darajaga tushiradi.

8. Amaliy misollar va case study (tanlangan loyihalar): Sydney — BSF pilot: konteynerli BSF tizimlari o'nlab tonnalarni ijaraga olgan holda qayta ishlash tadbirlari sinovdan o'tkazildi, natijada chiqindilar landfillingga yo'naltirilishini kamaytirish va frass hamda proteinli larva ishlab chiqarish muvaffaqiyati qayd etildi.

HTL + AD integratsiyasi tadqiqoti (ilmiy maqola, 2024): HTL suyuqliklarini ADda qayta ishlash imkoniyati va samaradorligi haqida ijobiy natijalar olindi, jarayon imkoniyatlari va to'siqlari tahlil qilindi.

9. Atrof-muhit, sanitariya va xavfsizlik masalalari: Innovatsion texnologiyalar ham ijobiy, ham potentsial xavf omillarini o'z ichiga oladi: patogenlar va kiruvchi kontaminantlar (masalan antibiotik qoldiqlari, pestitsidlar) boshqarilishi lozim; hasharot yetishtirishda bioxavfsizlik; genetik modifikatsiyalash tajribalari esa qat'iy nazoratga muhtoj. Shuningdek, energiya balanslari va umumiy CO₂/CH₄ hisoblari loyihalarning haqiqiy atrof-muhit foydasini belgilaydi.

10. Iqtisodiy tahlil va qabul qilish (adopsiya) omillari: Texnologiyaning moliyaviy muvaffaqiyati quyidagilarga bog'liq: boshlang'ich sarmoya, operatsion xarajatlar, bozor qiymati (mas. protein, bioplastik yoki biogaz uchun), hukumat subsidiyalari va chiqindilar QR tizimi. Kichik va o'rta shaharlarda modul yondashuvlar, qishloq joylarda esa kooperativ tizimlar samarali bo'lishi mumkin. Siyosiy vositachilik (solliqlar, rag'batlar, chiqindilarni saralash majburiyati) texnologiyalarni kengroq qabul qilinishini tezlashtiradi.

11. Siyosat va tavsiyalar (xalqaro va mahalliy amaliyot uchun):

1. Ishonchli chiqindilar saralash va logistika tizimini joriy etish — texnologiyalar samaradorligi uchun asos.

2. Pilot loyihalar va inkubatsiya fondlarini qo'llab-quvvatlash — yangi texnologiyalarni real sharoitda sinab ko'rish zarur.

3. Sanitariya va xavfsizlik standartlarini ishlab chiqish — hasharotlardan olingan mahsulotlar va SCP uchun standartlar.

4. Iqtisodiy rag'batlar — soliq imtiyozlari, subsidiyalar yoki chiqindilarni boj qo'yish orqali sirkulyar tizimlarni rag'batlantirish.

5. Ta'lim va jamoatchilik bilan ishlash — chiqindilarni kamaytirish va saralash madaniyatini oshirish.

12. Xulosa va kelajakdagi istiqbollar: Oziq-ovqat chiqindilarini innovatsion tarzda qayta ishlash — ekologik barqarorlik, resurs samaradorligi va yangi sanoat imkoniyatlari manbai. Anaerob hazm, BSF biokonversiyasi, HTL/HTC integratsiyasi, mikrobiologik upcycling va kimyoviy yo'llar — har biri o'ziga xos ustunlik va cheklovlarga ega. Kelgusida integratsiyalashgan, raqamlashtirilgan va lokal/region darajasida optimallashtirilgan tizimlar muvaffaqiyatga erishadi. Siyosiy va iqtisodiy rag'batlar bilan birga sanitariya va bozor standartlarini yaratish muhim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. K. He et al., Review in anaerobic digestion of food waste, PMC (2024).
2. HK Tatla et al., Coupling hydrothermal liquefaction and anaerobic digestion (2024).
3. S. Di Fraia et al., Comprehensive review on upcycling of food waste (2024).
4. CCAC report, Transforming organic waste with Black Soldier Fly (overview).

5. R. Carvalho et al., Food Waste Reduction: Integrated Sustainable Food Waste Reduction System, MDPI Sustainability (2025).
6. M. Arriaga et al., Valorization of Agri-Food Waste into PHA and Bioplastics, MDPI (2025).
7. Jurnal va yangilik misollari: Sydney BSF pilot, The Guardian va boshqa manbalar.