

**EKOLOGIK TOZA MATERIALLAR: "GREEN MATERIALS"
KONSEPSIYASI VA QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYALARI**

Ermatova Umida Elmurod qizi

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti talabasi

ermatovau812@gmail.com

Abduraxmonova Shoxidaxon Abduqodirovna

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti assistenti

abdurahmonovashohida3@gmail.com

Annotasiya: Ushbu maqolada ekologik xavfsiz materiallar — "green materials" — ning ilmiy asoslari, tasnifi va hayot sikli tahlili ko‘rib chiqiladi. Biogen (bio-asosli) va qayta ishlangan materiallarning xususiyatlari, ularni ishlab chiqarish va utilizasiya texnologiyalari tahlil qilinadi. Bambuk, kanop tolasi, myitselyum va bioplastiklarning sanoatdagi qo‘llanilishi ko‘rsatiladi. Qayta ishlash sanoatining zamonaviy holati, texnologik muammolar va ularni hal etishning ilmiy-amaliy yo‘llari yoritiladi. Maqola natijalaridan (materials science), atrof-muhit muhandisligi va barqaror rivojlanish siyosatini ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Kalit so‘zlar: ekologik toza materiallar, green materials, qayta ishlash, bioplastik, hayot sikli tahlili, barqaror rivojlanish, karbon izi, doiraviy iqtisodiyot.

Kirish: XXI asrda global iqtisodiyotning chiziqli modeli — "qazib ol, ishla, tashla" (take-make-dispose) — atrof-muhitga ko‘rsatayotgan ta‘siri barqaror rivojlanish maqsadlariga zid kelishi yaqqol namoyon bo‘lmoqda. Sanoat inqilobi boshlanganidan beri atmosferadagi CO₂ miqdori taxminan 280 ppm dan 420 ppm dan oshib ketdi — bu so‘nggi 800 000 yil ichidagi eng yuqori ko‘rsatkich.[7]

Materiallar ishlab chiqarish va utilizasiyasi bu muammoning markazida turadi: global chiqindilarning 45% materiallar siklidan kelib chiqadi.[4] Shu sababli alternativ material konsepsiyalari, xususan, "green materials" va doiraviy iqtisodiyot (circular economy) g‘oyalari tadqiqotchilar va sanoatchilar diqqatini tobora ko‘proq jalb etmoqda.

Dolzarliligi: O‘zbekiston 2030-yilga qadar "yashil iqtisodiyot"ga o‘tish strategiyasini qabul qilgan. Ushbu kontekstda ekologik toza materiallarni ishlab chiqarish va ularni qayta ishlash texnologiyalarini rivojlantirish milliy innovasiya siyosatining ustuvor yo‘nalishiga aylanmoqda (O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 4-oktabrdagi PF-5863-son Farmoni).

Asosiy qisim: "Green materials" (yashil materiallar) tushunchasi birinchi marta 1990-yillarda barqaror rivojlanish diskursi doirasida shakllandi.[1] ta‘rifiga ko‘ra, ekologik toza material deganda hayot siklining (qazib olish → ishlab chiqarish → foydalanish → utilizasiya) barcha bosqichlarida atrof-muhitga minimal salbiy ta‘sir ko‘rsatadigan material tushuniladi.

Tasnif (Ashby, 2013 va UNEP, 2021 asosida):[1]

- (1) Bio-asosli (biogenic) materiallar — tirik organizmlardan olingan: bambuk, kanop, zotli kenaf, myitselyum, nishasta asosidagi bioplastiklar.
- (2) Qayta ishlangan materiallar — ikkilamchi xomashyodan: qayta ishlangan alyuminiy, qayta ishlangan shisha va qog‘oz.
- (3) Uzoq umrli va qayta ishlatiluvchi materiallar — ishlash davri uzaytirilgan: betonning karbonatlanishi bilan mustahkamlangan navi, uzoq umrli po‘lat konstruksiyalar.
- (4) Inert va xavfsiz materiallar — parchalanib zararli moddalar ajratmaydigan: shisha, keramika, tabiiy tosh.

Materialning ekologik tozaligini baholashning eng ishonchli ilmiy usuli hayot sikli tahlili (LCA) hisoblanadi. "ISO 14040 va 14044" standartlariga muvofiq, LCA to‘rtta bosqichni qamrab oladi: maqsad va doirani belgilash, inventarizasiya tahlili (material va energiya oqimlari), ta‘sir baholash va talqin qilish.

LCA natijalari ko‘pincha kutilmagan xuloslarga olib keladi. Masalan, organik paxta an‘anaviy paxtaga nisbatan suv sarfi nuqtai nazaridan uncha farq qilmasa-da, pestitsid yukini 91% ga kamaytiradi. Bambuk esa tez o‘sishi va regenerasiya qobiliyati tufayli karbon izi bo‘yicha ko‘plab plastmassalarga nisbatan sezilarli ustunlikka ega.

Ellen MacArthur Foundation tomonidan sistemalashtirilgan doiraviy iqtisodiyot (circular economy) kontseptsiyasi materiallarning qiymatini chiqindi hosil qilmasdan saqlab qolishni nazarda tutadi. Bunda materiallar ikki alohida siklda aylanadi: biologik

sikl (kompostlash, bijg‘ish) va texnik sikl (ta‘mirlash, qayta foydalanish, qayta ishlash).[3]

Doiraviy yondashuv kontekstida material tanlash qarorlari muhim strategik ahamiyat kasb etadi. Materialni qayta ishlash imkoniyati (recyclability), biologik parchalanuvchanligi (biodegradability) va ta‘mirlash qulayligi (repairability) — bu uchta mezon zamonaviy material muhandisligida birinchi darajali mezonlarga aylandi. Asosiy ekologik materiallar tavsifi: Bambuk dunyodagi eng tez o‘sovchi o‘simlik bo‘lib, ba‘zi turlari kuniga 91 sm gacha o‘sadi. Poaceae (g‘alla) oilasiga mansub ushbu o‘simlik karbon yuqumini aktiv tutib oladi: 1 gektar bambuk plantasiyasi yiliga 17 tonna gacha CO₂ ni yutadi — bu o‘rmon uchun o‘rtacha ko‘rsatkichdan 35% yuqori.[8]

Mexanik xossalari: Bambuk tolasining solishtirma mustahkamligi (mustahkamlik/zichlik nisbati) po‘lat bilan raqobatlasha oladi. Zichligi atigi 0,6–0,9 g/sm³ bo‘lgan bambuk uchun tortish mustahkamligi 200–350 MPa ni tashkil etadi. Ushbu xossalari qayta ishlangan bambukning qurilish materiallari, pol qoplamalari, eshik va oynalar ramkasi, hatto velosiped ramkasi sifatida keng qo‘llanilishini ta‘minlaydi.

Texnik kanop (*Cannabis sativa L.*, sanoat navi) tarixi minglab yillarga borib taqaladi, biroq XX asrning o‘rtalarida siyosiy sabablarga ko‘ra ko‘plab mamlakatlarda taqiqlanib, tadqiqotlar sekinlashdi. Keyingi o‘n yilliklarda reabilitasiya jarayoni boshlanib, kanopning ekologik afzalliklari qaytadan e‘tirof etilmoqda.

Kanop 1 gektar maydondan 2,5–3,5 tonna quruq biomassa beradi va bu jarayonda pestitsid ishlatilmaydi, chunki o‘simlik tabiiy ravishda hashoratlardan himoyalangan. Karbon izi nuqtai nazaridan kanop tola ishlab chiqarish jarayonida har kilogramm material uchun 1,5 kg dan ortiq CO₂ ni atmosferadan tortib oladi — salbiy karbon izi “negative carbon footprint” hosil qiladi.

Myitselyum (qo‘ziqorin mitselliyasi) - asosidagi materiallar “materials science” ning eng yangi va istiqbolli yo‘nalishlaridan biri. Ecovative Design kompaniyasi tomonidan - commercializasiya qilingan ushbu texnologiyada qishloq xo‘jaligi qoldiqlari (makkajo‘xori po‘stlog‘i, paxta chiqindilari) qo‘ziqorin mitselliyasi bilan birga o‘stiriladi. Natijada qattiq, engil va to‘liq kompostlanadigan material hosil bo‘ladi.

Myitselyum materiallarining zichligi 40–300 kg/m³, issiqlik o‘tkazuvchanligi 0,04–0,06 W/(m·K) — bu polistirol ko‘pikiga (EPS) yaqin ko‘rsatkich. Muhimi — EPS dan farqli o‘laroq, myitselyum material yerda 45 kunda to‘liq parchalanadi. IKEA, Dell va

Nike kabi kompaniyalar allaqachon ushbu materialni qadoqlash echimlari sifatida sinovdan o'tkazmoqda.

Bioplastiklar ikki asosiy kategoriyaga bo'linadi:

(1) bio-asosli, lekin biologik parchalanmaydigan (masalan, bio-PE, bio-PET — neft o'rniga kukundan olinadi, lekin xuddi oddiy plastik kabi parchalanmaydi);

(2) biologik parchalanuvchi — PLA (polilaktid), PHA (polihidroksialkanoat), PBAT va boshqalar.

PLA (Polilaktid): Makkajo'xori nishastasidan fermentasiya yo'li bilan ishlab chiqariladi. Karbon izi konvension PE ga nisbatan 55–75% pastroq, ammo sanoat kompostlash sharoitida (58–60°C) 3–6 oyda parchalanadi — oddiy tuproqda emas. Bu "kompostlanadi" da'volarining ko'pincha chalg'ituvchi ekanligini ko'rsatadi.

PHA (Polihidroksialkanoat): Bakteriyalar tomonidan sintez qilinadigan ushbu biopolimer dengiz muhitida ham parchalanishi bilan alohida e'tiborga loyiq. Ishlab chiqarish tannarxi hali yuqori (5–10 \$/kg vs PET uchun 1–2 \$/kg), biroq biotexnologik jarayonlarni optimallashtirish bu farqni kamaytirib bormoqda.[4]

Grafikli materiallar: Quyidagi jadvalda asosiy ekologik materiallar va qiyoslash uchun konvensional plastik (polipropilen, PP) ning karbon izi, qayta ishlash imkoniyati va qo'llanish sohalari keltirilgan (1-jadval).

1-jadval.

Ekologik materiallarning karbon izi va qayta ishlash ko'rsatkichlari [1]

Material	CO ₂ izi (kg/kg)	Qayta ishlash	Asosiy qo'llanish
Bambuk	0.3–0.8	Ha (tabiiy)	Qurilish, mebel
Kanop tolasi (Hemp)	–1.5 (yutadi)	Ha	Tekstil, kompozit
PLA bioplastik	1.8–2.4	Qisman	Qadoqlash, tibbiyot
Qayta ishl. alyuminiy	0.7–1.2	Ha (%95)	Transport, qurilish

Myitselyum material	0.1–0.4	Ha (kompost)	Qadoqlash, izolyasiya
Qayta ishl. shisha	0.4–0.6	Ha	Qurilish, idishlar
Konvension plastik (PP)	1.9–3.5	Qisman	Qiyos uchun

Jadvaldan ko‘rinadiki, eng past karbon iziga ega materiallar myitselyum va tez o‘sovchi o‘simlik asosidagi materiallar hisoblanadi. Qayta ishlangan alyuminiy birlamchi ishlab chiqarishga nisbatan energiya sarfini 95% kamaytiradi — bu ko‘rsatkich barcha qayta ishlash jarayonlari ichida eng yuqori hisoblanadi.[6]

Mexanik qayta ishlash — eng keng tarqalgan usul bo‘lib, materialning kimyoviy tarkibini o‘zgartirmasdan qayta ishlashni nazarda tutadi. PET shishalar uchun jarayon quyidagicha: yig‘ish → saralash → maydalash → yuvish → eritish → granulatsiya. Natijada rPET (qayta ishlangan PET) hosil bo‘lib, u yangi to‘qimalar, sport kiyimlari va hatto oziq-ovqat idishlari uchun ishlatiladi.

Mexanik qayta ishlashning asosiy cheklovi — har bir siklda material xossalarining biroz pasayishi (degradation). Polimer zanjirlari qisqaradi, materialdagi aralashmalar miqdori ortadi. Shu sababli ko‘pchilik polimerlarda "kaskad qayta ishlash" qo‘llaniladi: premium mahsulotdan asta-sekin past sifatli ilovalar tomon harakat.

Kimyoviy qayta ishlash (solvoliz, piroliz, gazifikasiya) material zanjirini monomer yoki xomashyo darajasiga qadar parchalaydi, bu esa nazariy jihatdan cheksiz qayta ishlash tsiklini ta‘minlaydi. PET uchun glikoliz jarayonida etilen glikol va BHET monomeriga to‘liq parchalanish mumkin, so‘ngra yangi virgin-sifatli PET sintezlanadi. Industrial simbioz kontsepsiyasida bir korxonada chiqindisi boshqa korxonada uchun xomashyoga aylanadi. Daniyaning Kalundborg shahridagi industrial ekologiya parki bu g‘oyaning tarixiy namunasi: elektrostansiya bug‘ini qog‘oz zavodi ishlatadi, gips qoldiqlarini qurilish materiali sifatida sotadi, fermentatsiya zavodining organik chiqindilari esa mahalliy fermerlar uchun o‘g‘itga aylantiriladi.

"Urbantariflash" kontsepsiyasida esa shahar infratuzilmasi va qurilish materiallari — kelajakdagi xomashyo manbai sifatida ko‘riladi. Yevropa mamlakatlarida eski binolarni buzishdan olinadigan temir-beton konstruksiya elementlarini qayta ishlatish amaliyoti tobora kengayib bormoqda, bu qayta ishlashdan ham yuqori hierarhik ustuvorlikka ega.

Natijalar va ularning tahlili: Narx raqobatbardoshligi - Ekologik materiallar ko'pchilik hollarda an'anaviy materiallarga nisbatan qimmatroq. PHA bioplastik bozor narxi oddiy PET ga nisbatan 3–5 barobar yuqori. Neft mahsulotlari narxi past bo'lgan sharoitda ekologik alternativlar iqtisodiy jihatdan raqobatlasha olmasligini UNEP (2021) hisobotlari ham tasdiqlaydi.

Texnologik yetuklik darajasi: Myitselyum va bioplastiklarning ko'plab navlari hali kichik hajmda ishlab chiqarilmoqda (TRL — Technology Readiness Level 4–6). Sanoat miqyosida ishlab chiqarishga o'tish uchun muhandislik muammolari, shu jumladan, jarayonlarni nazorat qilish va standartlashtirish, hali to'liq yechilmagan.

Iste'molchi xabardorligining pastligi: "Greenwashing" (yolg'on ekologik da'volar) hodisasi iste'molchilarning haqiqiy ekologik toza materiallarga ishonchini kamaytiradi. "Biodegradable" yozuvi tushirilgan plastmassa mahsulotlarning 60% i aslida faqat sanoat kompostlash sharoitida parchalanishi buni tasdiqlaydi.[5]

Zararlangan ekin maydonlari muammosi: Biogen materiallar uchun xomashyo yetishtirishda ekin maydonlaridan foydalanish oziq-ovqat xavfsizligi bilan raqobatni keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli ikkinchi avlod biogen materiallar — oziq-ovqat zanjiri chiqindilari va lignosellyuloza asosidagi alternativlar — ustuvorlik kasb etmoqda.

Ilmiy-amaliy yechimlar: Narx muammosiga yechim — "true cost" hisobi - Neoklassik iqtisodiyot an'anaviy materiallarning salbiy tashqi ta'sirlarini (externalities) narxga kiritmaydi. "Karbon solig'i" va "to'liq narx" mexanizmlari joriy etilsa, ekologik materiallar allaqachon raqobatbardosh bo'lishi modellashtirishlar ko'rsatmoqda. EU Emissions Trading System (ETS) va tomonidan joriy etilayotgan karbon chegara mexanizmi (CBAM) bu yo'nalishda muhim qadam hisoblanadi.

Texnologik yetuklikni oshirish: Sintetik biologiya va metabolik muhandislik PHA ishlab chiqarishda mikroorganizmlarning mahsuldorligini so'nggi 10 yilda 300% ga oshirdi.

Greenwashingga qarshi: ISO 14021 (o'z-o'zini e'lon qilish ekologik da'volar) va ISO 14024 (uchinchi tomon sertifikatlash) standartlari ekologik da'volarni tartibga soladi. Yevropa Ittifoqi 2024-yildan kuchga kiradigan Green Claims Directive qonuni bo'yicha barcha ekologik da'volar ilmiy LCA tahlili bilan asoslanishi shart bo'ladi.

O'zbekiston uchun ekologik toza materiallar masalasi bir necha jihatdan alohida dolzarblik kasb etadi. Birinchidan, paxta yetishtirishdan qoladigan somonlar (yiliga 3–4 million tonna) lignosellyuloza asosidagi bioplastiklar uchun arzon xomashyo manbai

bo'la oladi. Ikkinchidan, tez rivojlanayotgan qurilish sektori qayta ishlangan materiallar bozoriga talab hosil qilmoqda. Kandahar va Farg'ona vodiysi mintaqalarida arpabodiyon va kanop yetishtirish an'anasi mavjud bo'lib, bu o'simlik tolalari asosidagi materiallar ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun ijtimoiy-iqtisodiy zamin yaratadi. 2023-yilda qabul qilingan "Yashil iqtisodiyot" kontseptsiyasi doirasida ekologik materiallar ishlab chiqarishni qo'llab-quvvatlash uchun soliq imtiyozlari va subsidiyalar tizimini joriy etish ushbu sohani rag'batlantirish uchun zarur siyosat chorasi hisoblanadi.

Xulosa: Ekologik toza materiallar — bu nafaqat atrof-muhit muammosini hal etish vositasi, balki yangi sanoat imkoniyatlarini ochuvchi paradigmatic o'zgarish. "Green materials" konsepsiyasi hayot sikli tahlili metodologiyasi asosida materiallarni tizimli baholashga imkon beradi va ko'rinarli siyosat qarorlarini qabul qilish uchun ilmiy asos yaratadi. Bambuk, kanop tolasi, myitselyum materiallari va bioplastiklar o'zining ishlash xossalari va ekologik ko'rsatkichlari bo'yicha konvensional materiallar bilan tobora muvaffaqiyatli raqobatlashmoqda. Qayta ishlash texnologiyalari — mexanik va kimyoviy yo'llar — material qiymatini saqlab qolish va chiqindilarni kamaytirish uchun muhim muhandislik vositalaridir.

Asosiy muammolar — narx raqobatbardoshligi va texnologik yetuklik — ijtimoiy siyosat va ilmiy innovasiyalar kombinatsiyasi orqali yechilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ashby, M. F. (2013). *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-12-385971-6.
2. Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337.
3. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.
4. Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation.
5. European Commission. (2021). *Study on the sustainability of single-use plastic products and alternatives*. Publications Office of the European Union.
6. Hammond, G., & Jones, C. (2019). *Inventory of Carbon and Energy (ICE) version 3.0*. Sustainable Energy Research Team, University of Bath.

7. IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press.
8. Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H., & Wu, J. (2012). World bamboo resources: A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. FAO.