TECHNICAL SCIENCE RESEARCH IN UZBEKISTAN
ISSN (E): 2992-9148 SJIF 2024 = 5.333 ResearchBib Impact Factor: 10.77 / 2025 VOLUME-4, ISSUE-11

3D-BOSMA QURILISH TEXNOLOGIYASINING EKOLOGIK SAMARADORLIGI: TABIIY RESURSLAR, CHIQINDILAR VA UGLEROD IZINI KAMAYTIRISH IMKONIYATLARI

Mirzaxonova Mexribon Marat qizi

Toshkent davlat transport universiteti tayanch doktoranti

Annotatsiya.

Maqolada betonni 3D-bosma usulida ishlab chiqarishning ekologik afzalliklari va cheklovlari xalqaro ilmiy tadqiqotlar asosida tahlil qilinadi. Material sarfi, qolip chiqindilari, sement bilan bog‘liq emissiyalar, qayta ishlangan xomashyo, qurilish changi hamda devorlarning foydalanish davridagi energiya talabi alohida baholanadi. Nashr etilgan hayotiy sikl tadqiqotlari ayrim optimallashtirilgan konstruksiyalarda sezilarli tejamkorlik mavjudligini, biroq yuqori sement ulushi va tashish masofasi ushbu ustunlikni kamaytirishini ko‘rsatadi. Perlit va keramzit qo‘llanadigan ko‘p qatlamli devor konsepsiyasi uchun ekologik samarani hisoblashning taqqoslanadigan mezonlari taklif etiladi. Adabiyotlarda keltirilgan foizlar muallif ishlanmasining tajriba natijasi sifatida talqin qilinmaydi.

Kalit so‘zlar: 3D-bosma beton, ekologik samaradorlik, hayotiy sikl tahlili, uglerod izi, qurilish chiqindilari, tabiiy resurslar, perlit, keramzit.

Kirish

Qurilish materiallarini ishlab chiqarish, tashish va o‘rnatish katta miqdorda xomashyo va energiya talab qiladi. Shu sababli 3D-bosma qurilishni ekologik texnologiya deb atash uchun printer mavjudligining o‘zi yetarli emas: material tarkibi, bosish jarayoni, armatura, xizmat muddati va utilizatsiya birgalikda baholanishi zarur. Heywood va Nicholas [1] ekologik baholashni material, hisoblash dizayni va konstruksiyaning real ishlashi bilan bog‘lash zarurligini ta’kidlaydi. Motalebi va hammualliflar [2] ham hayotiy sikl baholash tadqiqotlarida funksional birlik va tizim chegaralari bir xil bo‘lmasa, foizlarni bevosita solishtirish noto‘g‘ri ekanini ko‘rsatadi.

3D-bosma texnologiyasining asosiy imkoniyati betonni aynan talab etilgan geometrik joyga yotqizishdir. 2025-yildagi Nature Reviews Clean Technology sharhida topologik optimallashtirilgan ayrim yechimlarda material tejalishi 70% gacha yetishi qayd etilgan [3]. Bu umumiy sanoat ko‘rsatkichi emas, aniq loyihalar uchun qayd etilgan yuqori natijadir. Zhuang va hammualliflar [4] bosish trayektoriyasi, material tarkibi va konstruktiv geometriyaning birgalikda tanlanishini resurs tejamkorligi sharti sifatida ko‘rsatadi.

ISSN (E): 2992-9148 SJIF 2024 = 5.333 ResearchBib Impact Factor: 10.77 / 2025 VOLUME-4, ISSUE-11

Tadqiqot yondashuvi

Mazkur ish 15 ta nashrga tayangan tahliliy tadqiqotdir. Taqqoslash uchun funksional birlik sifatida bir xil issiqlik va konstruktiv talabni bajaradigan 1 m² tashqi devor qabul qilinadi. Qiyoslanadigan variantlar: an'anaviy devor va izolyatsiyali, ichki bo'shliqlarga ega 3D-bosma devor. Material sarfi, CO_2-ekvivalent, chiqindi massasi, suv iste'moli, chang konsentratsiyasi va ekspluatatsion energiya alohida hisoblanishi kerak. LCA bo'yicha yangi metodik sharhlar qurilishning ishlab chiqarish, qurish, foydalanish va yakuniy utilizatsiya bosqichlarini qamrab olishni tavsiya qiladi [5].

Material sarfi va chiqindilar

An'anaviy monolit qurilishda qolip tayyorlash va yechish, blokli devorda esa kesish hamda moslashtirish jarayonlari chiqindi hosil qilishi mumkin. 3D-bosmada ayrim qoliplar va kesish operatsiyalari qisqaradi. Biroq printer ishga tushirishida qolgan qorishma, yaroqsiz qatlamlar, nasos va shlangni tozalash chiqindilari ham hisobga olinishi lozim. Liu va hammualliflarning [6] qiyosiy LCA tadqiqotida 3D-bosmaning nisbiy foydasi murakkab geometriyada ortishi, an'anaviy qolip ko'p marta qayta ishlatilganda esa kamayishi aniqlangan. Habibi va hammualliflar [7] ekologik strategiyalarni faqat chiqindi miqdori bilan emas, material tanlash va texnologik boshqaruv bilan ham bog'laydi.

Chiqindi massasini kamaytirish foizi quyidagicha hisoblanadi: $K\chi$ = (Wan'anaviy − W3D) / Wan'anaviy × 100%. Bu yerda W — bir xil funksional birlik uchun yig'ilgan chiqindi massasi. Ushbu formula bo'yicha o'z ishlanmamizning foizini berish uchun real material balansi talab etiladi.

Uglerod izi va sementning roli

Sement miqdori yuqori bo'lgan 3D-bosma qorishmalar ekologik jihatdan har doim ham an'anaviy betondan ustun bo'lavermaydi. Ye va hammualliflar [8] maxsus modifikatsiyalangan bosma kompozitda doiraviy uy konstruksiyasi uchun 28%, ramali konstruksiya uchun 42% kam uglerod emissiyasini qayd etgan. Bu raqamlar aynan ularning tarkibi va qiyoslash chegaralariga tegishli. 2026-yilgi tadqiqot [9] qayta ishlangan xomashyo va jarayon optimallashtirilgan ssenariyda hayotiy sikl emissiyasini 53,1% gacha kamaytirish mumkinligini bildiradi; ayni paytda yuqori sement ulushi va tashish xarajatlari asosiy cheklov bo'lib qoladi.

Qayta ishlangan materiallardan foydalanish istiqbolli. Irshidat va hammualliflar [10] uchuvchi kul, shlak, qayta ishlangan qum, shisha va boshqa chiqindilarning bosma beton tarkibidagi qo'llanilishini ko'rib chiqqan. 2026-yildagi to'liq masshtabli devor elementlari bo'yicha tadqiqotda sementning bir qismini almashtirish uglerod izini 20% gacha kamaytirgan, lekin ayrim boshqa ekologik ko'rsatkichlarda oshish ham kuzatilgan [11]. Shuning uchun bir ko'rsatkichdagi yutuqni «mutlaqo zararsiz» degan xulosaga aylantirish mumkin emas.

ISSN (E): 2992-9148 SJIF 2024 = 5.333 ResearchBib Impact Factor: 10.77 / 2025 VOLUME-4, ISSUE-11

Qurilish changi va suv resurslari

Chang manbalari — quruq sementni bo‘shatish, to‘ldiruvchini ko‘chirish, kesish, maydalash va tozalash. Raqamli bosish blok kesish va ayrim qolip ishlarini qisqartirishi mumkin, ammo qorishma tayyorlashdagi changni avtomatik yo‘qotmaydi. 3D-bosma an’anaviy qurilishdan falon foiz kam chang chiqaradi degan umumlashtirilgan ishonchli raqamni ushbu manbalardan olish mumkin emas. Buni tekshirish uchun ikkala usulda bir xil ish hajmida $PM_{2.5}$ va PM_{10} ni bir xil o‘lchash asbobi, ob-havo va namlik sharoitida qayd etish kerak.

Suv sarfi ham birgina qorishma retsepti bilan cheklanmaydi: uskuna yuvilishi, nam saqlash va chiqindini qayta ishlash hisobga olinadi. Qayta ishlangan materiallarning ekologik izi bo‘yicha tadqiqot [11] uglerod ko‘rsatkichi yaxshilanganda boshqa resurs ko‘rsatkichlari albatta yaxshilanmasligini ko‘rsatadi.

Ko‘p qatlamli devor va tabiiy resurslar

Taklif etilayotgan ishlanmada bosma beton qatlamlari bilan ichki izolyatsiyani ajratish va perlit hamda keramzit kabi yengil to‘ldiruvchilardan foydalanish ko‘zda tutiladi. Bu yondashuv zichlikni pasaytirish va devor issiqlik qarshiligini oshirish uchun sinovdan o‘tkazilishi mumkin. Biroq perlitni kengaytirish va keramzitni pishirish energiya talab qiladi; shu sababli ularni avtomatik ravishda «nol emissiyali» deb atash mumkin emas. Izolyatsiyaning real foydasi devor kesimi, issiqlik ko‘priklari va xizmat muddatiga bog‘liq. 3D-bosma binolarning energiya hamda konstruktiv samaradorligi bo‘yicha keng sharh [12] va konstruksiyalarning hayotiy siklini baholash ishlari [13] aynan tizimli qiyoslash zarurligini ko‘rsatadi.

Transport masofasi ham ekologik natijani o‘zgartiradi. Zhang va hammualliflar [14] mahalliy xomashyo va yetkazib berish masofasi ekologik profilga sezilarli ta’sir qilishini o‘rgangan. Qayta ishlangan rezina qo‘shilgan betonning bosma va qolipli usullari qiyosi [15] muqobil to‘ldiruvchilarni tanlashda ham materialning butun hayotiy siklini hisoblash kerakligini ko‘rsatadi.

Muhokama va amaliy baholash

Bizning devorimizning ekologik samarasi uch bosqichda isbotlanishi lozim. Birinchidan, 1 m^2 devor uchun sement, qum, perlit, keramzit, suv, armatura va izolyatsiya miqdori an’anaviy analog bilan solishtiriladi. Ikkinchidan, laboratoriyada zichlik, siqilishdagi mustahkamlik va issiqlik o‘tkazuvchanligi o‘lchanadi. Uchinchidan, ishlab chiqarish va tashish emissiyalari hamda binoning foydalanish davridagi energiya talabi baholanadi. Har bir bosqichda bir xil mustahkamlik, issiqlik qarshiligi va xizmat muddati talabini saqlash zarur.

Shu tarzda maqolaning asosiy ilmiy xulosasi texnologiyaning shartsiz ustunligida emas, balki qaysi sharoitlarda ekologik ustunlikka erishish mumkinligini ko‘rsatishidadir. Materialni tejovchi

ISSN (E): 2992-9148 SJIF 2024 = 5.333 ResearchBib Impact Factor: 10.77 / 2025 VOLUME-4, ISSUE-11

geometriya, past emissiyali tarkib, mahalliy resurslardan foydalanish va issiqlik izolyatsiyasini birlashtirish mazkur yo‘nalishning tekshiriladigan gipotezasidir.

Xulosa

Ilmiy manbalar 3D-bosma qurilish material sarfi, qolip chiqindilari va ayrim konstruksiyalarning uglerod izini kamaytirish salohiyatiga ega ekanini tasdiqlaydi. Nashr etilgan tadqiqotlarda 28%, 42% va 53,1% kabi natijalar qayd etilgan bo‘lsa-da, ular turli tarkib va hisoblash ssenariylariga tegishli; ularni taklif etilayotgan devor uchun tayyor natija sifatida ko‘rsatish mumkin emas. Chang chiqindisining aniq foizini aniqlash uchun esa maydon o‘lchovlari talab etiladi. Perlit va keramzitli ko‘p qatlamli 3D-bosma devor konsepsiyasining ekologik istiqboli mavjud, ammo u bir xil funksional talablar asosidagi material balansi, laboratoriya sinovlari va LCA bilan tasdiqlanishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Heywood K., Nicholas P. Sustainability and 3D concrete printing: identifying a need for a more holistic approach to assessing environmental impacts. 2023. DOI: 10.1007/s44223-023-00030-3.

2. Motalebi A., Khondoker M.A.H., Kabir G. A systematic review of life cycle assessments of 3D concrete printing. Sustainable Operations and Computers, 2024, 41–50. DOI: 10.1016/j.susoc.2023.08.003.

3. 3D printing technology in concrete construction. Nature Reviews Clean Technology, 2025, 1, 288–303. DOI: 10.1038/s44359-025-00047-z.

4. Zhuang Z. et al. A comprehensive review of sustainable materials and toolpath optimization in 3D concrete printing. npj Materials Sustainability, 2024, 2, 12. DOI: 10.1038/s44296-024-00017-9.

5. Life Cycle Assessment of 3D Concrete Printed Buildings: A Review of Methodologies, Standards and EPBD Compliance. Journal of Composites Science, 2026, 10(7), 367.

6. Liu S. et al. A comparative study on environmental performance of 3D printing and conventional casting of concrete products with industrial wastes. Chemosphere, 2022, 298, 134310. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134310.

7. Habibi A., Buswell R., Osmani M., Aziminezhad M. Sustainability principles in 3D concrete printing: Analysing trends, classifying strategies, and future directions. Journal of Building Engineering, 2024, 98, 111354. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.111354.

ISSN (E): 2992-9148 SJIF 2024 = 5.333 ResearchBib Impact Factor: 10.77 / 2025 VOLUME-4, ISSUE-11

8. Ye J. et al. Comparative environmental assessment of 3D concrete printing with engineered cementitious composites. Virtual and Physical Prototyping, 2024, 19(1), e2369249. DOI: 10.1080/17452759.2024.2369249.

9. Toward low-carbon 3D concrete printing through circular construction and waste valorization. Journal of Building Engineering, 2026. Publisher record: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710226001294.

10. Irshidat M. et al. Waste materials utilization in 3D printable concrete for sustainable construction applications: a review. 2025, 8, 1357–1379. DOI: 10.1007/s42247-024-00942-4.

11. Environmental Footprint of 3D-Printed Concrete Using Recycled Materials. Sustainability, 2026, 18(1), 288.

12. Comprehensive review of 3D printed concrete, life cycle assessment, AI and ML models: Materials, engineered properties and techniques for additive manufacturing. Sustainable Materials and Technologies, 2025, 43, e01164. DOI: 10.1016/j.susmat.2024.e01164.

13. 3D-printed concrete footbridges: An approach to assess the sustainability performance. Structural Concrete, 2023, 24(6), 7705–7725. DOI: 10.1002/suco.202201227.

14. Zhang R.-C., Wang L., Xue X., Ma G.-W. Environmental profile of 3D concrete printing technology in desert areas via life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 2023, 396, 136412. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136412.

15. Life Cycle Assessment (LCA) of 3D Concrete Printing and Casting Processes for Cementitious Materials Incorporating Ground Waste Tire Rubber. Recycling, 2023, 8(1), 15. DOI: 10.3390/recycling8010015.