IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 22 Issue 01 IYUN 2026

O‘RIM-YIG‘IMDAN KEYINGI DON SIFATINI SAQLAB QOLISHDA INNOVATSION SAQLASH TEXNOLOGIYALARINING AHAMIYATI

Tadjieva Muxayyo Kudratovna
Qarshi davlat texnika universiteti
Oziq-ovqat texnologiyasi kafedrasi katta-o’qituvchisi

Annotatsiya

Maqolada o‘rim-yig‘imdan keyingi don sifatini saqlab qolishda innovatsion saqlash texnologiyalarining ahamiyati ko‘rib chiqilgan. 2010–2025-yillarda nashr etilgan 22 ta xalqaro va mahalliy ilmiy manbaning tizimli tahlili asosida beshta asosiy yo‘nalish — germetik saqlash, boshqariladigan muhit texnologiyasi, metall silos tizimlari, IoT-asosli aqlli silos tizimlari va alternativ usullar (ozon, UV-C, biokontrol) qiyosiy tarzda o‘rganildi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, innovatsion texnologiyalar an’anaviy usullardan sezilarli ustun. Germetik saqlash (PICS) don shikastlanishini 28,4 foizdan 1,8 foizgacha, hasharotlar zararlanishini esa 38,5 foizdan 1,2 foizgacha kamaytiradi (χ^2=68,2, p<0,001). Boshqariladigan muhit (CO_2>60%) asosiy zararkunandalarni 4–7 kun ichida 100 foiz nobud qiladi va aflatoksin B_1 to‘planishini 87 foizga kamaytiradi. Metall silos tizimlari o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlarni 30 foizdan 1–2 foizgacha tushiradi. IoT-asosli tizimlar Aspergillus flavus rivojlanishini 7–10 kun oldindan 92 foiz aniqlikda bashorat qiladi. Texnologiya darajasi va samaradorlik orasidagi korrelyatsiya r=0,89, p<0,01 bo‘ldi. Olingan ma’lumotlar O‘zbekiston don sektorida innovatsion saqlash texnologiyalarini bosqichma-bosqich joriy etish zarurligini asoslab beradi.

Kalit so‘zlar: o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlar, don sifati, germetik saqlash, boshqariladigan muhit, metall silos, IoT-monitoring, PICS qoplari, aflatoksin, oziq-ovqat xavfsizligi, O‘zbekiston don xo‘jaligi.

ЗНАЧЕНИЕ ИННОВАТSIОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ В СОХРАНЕНИИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПОСЛЕ УБОРКИ УРОЖАЯ

Аннотатsiя

В статье рассматривается значение инноватsионных технологий хранения в сохранении качества зерна после уборки урожая. На основе систематического анализа 22 международных и отечественных научных источников, опубликованных в 2010–2025 годах, проведено сравнительное исследование пяти основных направлений: герметичное хранение, технология контролируемой атмосферы, металлические силосные системы, IoT-ориентированные «умные силосы» и альтернативные методы (озонирование, УФ-С, биоконтроль).

Результаты показали, что инноватsионные технологии значительно превосходят традиционные методы. Герметичное хранение (PICS) снижает повреждение зерна с 28,4% до 1,8%, а заражение насекомыми — с 38,5% до 1,2% (χ^2=68,2, p<0,001). Контролируемая атмосфера (CO_2>60%) обеспечивает 100% гибель основных вредителей за 4–7 дней и снижает накопление афлатоксина B_1 на 87%. Металлические силосы уменьшают послеуборочные потери с 30% до 1–2%. IoT-системы прогнозируют развитие Aspergillus flavus с точностью 92% за 7–10 дней. Корреляция между уровнем технологичности и эффективностью составила r=0,89, p<0,01. Полученные данные обосновывают необходимость поэтапного внедрения инноватsионных технологий хранения в зерновом секторе Узбекистана.

Ключевые слова: послеуборочные потери, качество зерна, герметичное хранение, контролируемая атмосфера, металлический силос, IoT-мониторинг, PICS-мешки, афлатоксин, продовольственная безопасность, зерновое хозяйство Узбекистана.

THE IMPORTANCE OF INNOVATIVE STORAGE TECHNOLOGIES IN PRESERVING POST-HARVEST GRAIN QUALITY

Abstract

The article examines the importance of innovative storage technologies in preserving post-harvest grain quality. Based on a systematic analysis of 22 international and national scientific sources published between 2010 and 2025, a comparative study of five main directions was conducted: hermetic storage, controlled atmosphere technology, metal silo systems, IoT-based smart silos, and alternative methods (ozone, UV-C, biocontrol).

The results showed that innovative technologies significantly outperform traditional methods. Hermetic storage (PICS) reduces grain damage from 28.4% to 1.8% and insect infestation from 38.5% to 1.2% (χ^2=68.2, $p<0.001$). Controlled atmosphere (CO_2>60%) ensures 100% mortality of major pests within 4–7 days and reduces aflatoxin B_1 accumulation by 87%. Metal silos lower post-harvest losses from 30% to 1–2%. IoT systems predict Aspergillus flavus development with 92% accuracy 7–10 days in advance. The correlation between the level of technology and efficiency was $r=0.89$, $p<0.01$. The obtained data justify the need for a phased introduction of innovative storage technologies in the grain sector of Uzbekistan.

Keywords: post-harvest losses, grain quality, hermetic storage, controlled atmosphere, metal silo, IoT monitoring, PICS bags, aflatoxin, food security, grain sector of Uzbekistan.

KIRISH

Don ekinlari dunyo aholisining oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlashda hal qiluvchi rol o‘ynaydi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi tashkiloti (FAO) ma’lumotlariga ko‘ra, bug‘doy, sholi va makkajo‘xori birgalikda jahon kaloriya iste’molining qariyb 50 foizini tashkil etadi [1]. Hosildorlikni oshirishga qaratilgan ko‘plab agrotexnik tadbirlarga qaramay, jahon miqyosida o‘rim-yig‘imdan keyingi bosqichda yetishtirilgan donning sezilarli qismi yo‘qotilmoqda. FAO hisob-kitoblari bo‘yicha, donli ekinlarda o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlar global miqyosda 8–15 foizni tashkil qiladi, rivojlanayotgan mamlakatlarda esa bu ko‘rsatkich 20–30 foizgacha yetadi [2,3]. Bunday yo‘qotishlar nafaqat iqtisodiy zarar keltiradi, balki oziq-ovqat xavfsizligi, dehqonlarning daromadi va atrof-muhit barqarorligiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

O‘rim-yig‘imdan keyingi bosqichda don sifatining pasayishi va miqdoriy yo‘qotishlarning asosiy sabablari sifatida yuqori nam muhit, hasharotlarning ko‘payishi, kemiruvchilar, mikroorganizmlarning rivojlanishi, mikotoksinlarning to‘planishi va texnologik yetishmovchiliklar ko‘rsatiladi [4]. Ayniqsa, Aspergillus flavus va Fusarium turkumiga mansub zamburug‘lar tomonidan ishlab chiqariladigan aflatoksin va fumonizinlar inson va hayvon salomatligi uchun jiddiy xavf tug‘diradi [5]. Aflatoksin B_1 jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti tomonidan birinchi guruh kanserogen sifatida tasniflangan bo‘lib, jigar saratoni va boshqa surunkali kasalliklarning rivojlanishiga sabab bo‘ladi. O‘zbekiston Respublikasi qishloq xo‘jaligi tuzilmasida g‘alla ekinlari, ayniqsa kuzgi bug‘doy yetakchi o‘rin tutadi va respublikada don zaxiralarini saqlash xavfsizligi davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [6].

Don saqlash sohasidagi an’anaviy usullar — ochiq omborxonalar, oddiy quti va xaltalar, sement polli idishlar — yangi sharoitlarda samaradorligini yo‘qotmoqda. Iqlim o‘zgarishi natijasida harorat va namlik tebranishlarining kuchayishi, zararkunandalarning kimyoviy preparatlarga qarshi turg‘unlik ko‘rsatishi va iste’molchilarning xavfsiz mahsulot talab qilishi

an’anaviy yondashuvlarni qayta ko‘rib chiqishni taqozo etmoqda [7]. Bundan tashqari, ko‘plab mamlakatlarda fumigatsiyada keng qo‘llanilgan metilbromid Monreal protokoli doirasida bosqichma-bosqich taqiqlanmoqda, fosfin esa qarshi turg‘unlikning kuchayishi tufayli samaradorligini yo‘qotmoqda. Shu sabablarga ko‘ra, oxirgi yigirma yil ichida innovatsion saqlash texnologiyalari — germetik (kislorodsiz) saqlash, boshqariladigan muhit (controlled atmosphere) texnologiyasi, metall silos tizimlari, “aqlli” silosga asoslangan IoT monitoring vositalari, ozon va ultrabinafsha nurli sterilizatsiya hamda biopreparatlardan foydalanish kabi yo‘nalishlar keng tarqalmoqda [8,9].

Xalqaro tadqiqotlar germetik saqlash usullarining yuqori samaradorligini ko‘rsatmoqda. Murdock va hammualliflari [10] tomonidan o‘tkazilgan tajribalar shuni isbotladiki, “Purdue Improved Crop Storage” (PICS) qopi qo‘llanilganda don ichida kislorod miqdori 21 foizdan 2 foizgacha pasayadi, bu esa hasharotlarning 24–48 soat ichida nobud bo‘lishiga olib keladi. Likhayo va boshqalar [11] Sharqiy Afrikada o‘tkazilgan tajribalarida 8 oylik saqlash davomida germetik qoplarda don shikastlanishi 1 foizdan kam, ochiq qoplarda esa 40 foizdan oshganligini qayd etishgan. Williams va hammualliflari [12] makkajo‘xori uchun PICS samaradorligini, shuningdek, qopdagi aflatoksin to‘planishining sezilarli kamayishini batafsil tahlil qilgan. Suleiman va boshqalar [13] esa boshoqli ekinlarda fizik-kimyoviy sifat ko‘rsatkichlarining saqlanishini o‘rgangan. Bunday natijalar germetik saqlashning kimyoviy fumigatsiyaga to‘la muqobil bo‘la olishini ko‘rsatadi.

Boshqariladigan muhit (controlled atmosphere, CA) usuli karbonat angidrid (CO_2>60%) yoki azot (N_2>98%) muhitida saqlashni nazarda tutadi. Navarro [14] tomonidan o‘tkazilgan keng qamrovli tahlilda bu usulning Sitophilus, Tribolium, Rhyzopertha kabi asosiy zararkunandalarning barcha taraqqiyot bosqichlarida 4–10 kun ichida 100 foiz nobud bo‘lishini ta’minlashi isbotlangan. Bundan tashqari, Ferizli va Emekci [15] sanoatda CO_2 asosidagi fumigatsiyaning metilbromidga muqobil sifatida qo‘llanishini quruq meva sanoati misolida ko‘rsatib bergan. Tefera va hammualliflari [16] metall silos tizimlarining Sharqiy Afrika davlatlarida o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlarni 30 foizdan 1–2 foizgacha kamaytirishini va donni 12 oydan ko‘proq vaqt davomida sifatli holatda saqlashini empirik isbotlagan.

Zamonaviy raqamli texnologiyalar, jumladan IoT (Internet of Things) sensorlari, sun’iy intellekt algoritmlari va bulutli platformalarga asoslangan “aqlli silos” tizimlari donni real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beradi [17]. Bunday tizimlar harorat, namlik, CO_2 darajasi va hasharotlar aktivligini doimiy ravishda kuzatib boradi va og‘ish sezilganda avtomatik tarzda ogohlantirish yuboradi. Garcia-Cela va boshqalar [18] mikotoksinlar paydo bo‘lishini oldindan bashorat qiluvchi prognoz modellarini ishlab chiqqan, bu esa profilaktik chora-tadbirlarni o‘z vaqtida qo‘llashga imkon yaratadi. Ozon (O_3) bilan ishlov berish [19] hasharotlar va mikroorganizmlarga qarshi kompleks ta’sir ko‘rsatadi, biokontrol agentlari esa mikotoksinogen zamburug‘larning rivojlanishini cheklaydi [20].

Rossiya va MDH mamlakatlari olimlari ham don saqlash sohasiga muhim hissa qo‘shgan. L.A. Trisvyatskiy “Don saqlash” klassik darsligida saqlash jarayonidagi fizik-kimyoviy o‘zgarishlarni, donning nafas olishi, isib ketishi va biologik faolligini mukammal tahlil qilgan [21]. Kumar va Kalita [22] rivojlanayotgan mamlakatlarda o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlarni kamaytirish strategiyalarini umumlashtirgan. O‘zbekistonda esa qishloq xo‘jaligini rivojlantirish strategiyasi doirasida zamonaviy saqlash infratuzilmasini modernizatsiya qilish va innovatsion texnologiyalarni joriy etish dolzarb vazifa sifatida belgilangan [6].

Yuqorida bayon etilgan fikrlardan kelib chiqib, innovatsion saqlash texnologiyalarining samaradorligini tizimli tarzda taqqoslash va ularning O‘zbekiston sharoitida joriy etilishi imkoniyatlarini baholash dolzarb ilmiy-amaliy vazifa sifatida shakllanmoqda. Mazkur maqolaning maqsadi — o‘rim-yig‘imdan keyingi don sifatini saqlab qolishda zamonaviy

innovatsion texnologiyalarning ahamiyatini ilmiy-tahliliy jihatdan asoslash, ularning qiyosiy samaradorligini tahlil qilish va respublika sharoitida amaliy joriy etish istiqbollarini ochib berishdir. Vazifalar quyidagilardan iborat: birinchidan, mavjud xalqaro ilmiy adabiyotda yoritilgan innovatsion saqlash texnologiyalarini tasniflash; ikkinchidan, har bir texnologiyaning kalit samaradorlik ko‘rsatkichlarini qiyosiy o‘rganish; uchinchidan, olingan ma’lumotlar asosida O‘zbekiston don sektori uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

METODLAR

Tadqiqot tizimli adabiyot tahlili (systematic literature review) usuliga asoslangan. 2010–2025-yillarda nashr etilgan 22 ta xalqaro va mahalliy ilmiy manba o‘rganildi. Manbalar Scopus, Web of Science, Google Scholar va eLibrary ma’lumotlar bazalaridan “post-harvest grain storage”, “hermetic storage”, “controlled atmosphere”, “metal silo”, “IoT silo monitoring”, “don saqlash texnologiyalari”, “mycotoxin grain storage” kalit so‘zlari bo‘yicha qidirildi. Tanlov mezonlari sifatida: (1) empirik tajribaviy ma’lumotlar mavjudligi; (2) saqlash samaradorligi sonli ko‘rsatkichlarda berilganligi; (3) o‘lchov birliklarining standartlashtirilgan tarzda (foiz, gramm, KOE/g, mkg/kg) taqdim etilganligi; (4) maqolaning xalqaro peer-review jurnalida nashr qilinganligi yoki nufuzli xalqaro tashkilot (FAO, CGIAR, IRRI) tomonidan chop etilganligi qabul qilindi. Tilga qarab cheklov qo‘yilmagan: ingliz, rus va o‘zbek tilidagi manbalar tahlilga jalb etildi.

Tahlil quyidagi besh asosiy texnologik yo‘nalish bo‘yicha amalga oshirildi: birinchi yo‘nalish — germetik saqlash (PICS qoplari, GrainPro Cocoon, AgroZ konteynerlari va boshqalar); ikkinchi yo‘nalish — boshqariladigan muhit texnologiyasi (CO_2 va N_2 asosidagi modifikatsiyalangan atmosfera); uchinchi yo‘nalish — metall silos tizimlari; to‘rtinchi yo‘nalish — IoT-asosli aqlli silos tizimlari (harorat, namlik va CO_2 sensorlari, sun’iy intellekt algoritmlari, bulutli platforma); beshinchi yo‘nalish — alternativ usullar (ozon bilan ishlov berish, UV-C sterilizatsiya, biokontrol agentlari).

Har bir texnologiya bo‘yicha to‘rtta asosiy ko‘rsatkich tizimli tarzda solishtirildi: (a) don shikastlanishi darajasi (foiz), (b) hasharotlar tomonidan zararlanish darajasi (foiz), (v) aflatoksin B_1 to‘planishining qoidaga muvofiq darajadan (10 mkg/kg) oshish ehtimoli (foiz) va (g) sifatni saqlash davomiyligi (oy). Olingan ma’lumotlar Microsoft Excel 2021 dasturida jamlanib, har bir texnologiya bo‘yicha o‘rtacha qiymatlar va standart og‘ishlar hisoblandi. Xi-kvadrat (χ^2) testi va Pearson korrelyatsiyasi (r) yordamida statistik tahlil amalga oshirildi, ahamiyatlilik darajasi $p<0,05$ deb qabul qilindi.

Sifat mezonlari sifatida xalqaro Codex Alimentarius standartlari (mikotoksinlar bo‘yicha CXS 193-1995, namlik bo‘yicha tegishli kodlar) hamda O‘zbekiston Respublikasi Davlat standartlari ko‘rsatkichlari asos qilib olindi. Maqolada tahlil qilingan manbalar bibliografik ro‘yxat orqali ketma-ket raqamlangan va matn ichida [X] kvadrat qavslarda iqtibos qilingan, bu APA va GOST 7.0.5-2008 talablariga muvofiqdir.

NATIJALAR

Adabiyot tahlili 22 ta tadqiqotda keltirilgan empirik ma’lumotlarni qiyosiy o‘rganish imkonini berdi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, innovatsion saqlash texnologiyalari an’anaviy usullarga nisbatan don sifatini saqlab qolishda sezilarli darajada samaraliroqdir va ularning samaradorligi turli texnologik yo‘nalishlarda har xil ko‘rsatkichlar bilan ifodalanadi.

Germetik saqlash usuli (PICS qoplari, GrainPro Cocoon, germetik konteynerlar) o‘rganilgan barcha tadqiqotlarda eng yuqori samaradorlikni namoyish etdi. Saqlash davrining 6 oyidan keyin germetik usulda saqlangan donda hasharotlar tomonidan shikastlanish o‘rtacha 1,2 foizni tashkil etgani holda, an’anaviy ochiq qoplarda bu ko‘rsatkich 38,5 foizga yetdi ($\chi^2=68,2$, $p<0,001$) [10,11,12]. Don ichidagi kislorod kontsentratsiyasi 48 soat ichida 20,9 foizdan 2,1

foizgacha pasayib, bu hasharotlarning to‘liq nobud bo‘lishi uchun yetarli darajada past muhitni yaratdi. Bunda hech qanday kimyoviy preparatdan foydalanish talab etilmaydi, bu esa mahsulotning ekologik xavfsizligi va eksportbop sifatini ta’minlaydi.

Boshqariladigan muhit (CA) texnologiyasi CO_2 kontsentratsiyasi 60 foizdan yuqori bo‘lganda 4–7 kun ichida Sitophilus zeamais, Rhyzopertha dominica va Tribolium castaneum kabi asosiy zararkunandalarni 100 foiz nobud qildi [14]. Azotli muhit (N_2>98%) shu kabi natijaga olib kelgan, biroq nisbatan uzoqroq vaqt — 10–14 kun talab etgan. CA usuli mikotoksin to‘planishini ham sezilarli kamaytirgan: aflatoksin B_1 kontsentratsiyasi nazorat namunalariga nisbatan o‘rtacha 87 foizga past bo‘lgan, fumonizinlar darajasi esa 72 foizga kamaygan [15,18]. Bu natijalar CA texnologiyasining bir vaqtning o‘zida ham fizik (entomologik), ham mikrobiologik xavflarni nazorat qilishdagi qudratini namoyish etadi.

Metall silos tizimlari rivojlanayotgan mamlakatlardagi tajribalarda yuqori samara ko‘rsatdi. Tefera va hammualliflari [16] ma’lumotlariga ko‘ra, metall silosga o‘tgan dehqon xo‘jaliklarida o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlar 30 foizdan 1–2 foizgacha pasayadi va don 12 oydan ko‘proq vaqt davomida sifatini saqlab qoladi. Kapitalga sarflanadigan xarajatlar yuqori bo‘lgani holda, 2–3 yil ichida iqtisodiy o‘zini oqlash ta’minlangan. Shuningdek, metall silos kemiruvchilarning kirishini fizik ravishda to‘sib qo‘yadi va don bilan tashqi muhit orasidagi gaz almashinuvini cheklaydi.

Aqlli silos (IoT-asosli) tizimlari real vaqtli monitoring orqali profilaktik chora-tadbirlarni o‘z vaqtida qo‘llashga imkon berdi. Garcia-Cela va boshqalar [18] modelida harorat va suv aktivligi (aw) datchiklari ma’lumotlari asosida Aspergillus flavus rivojlanishi va aflatoksin B_1 ishlab chiqarilishi 7–10 kun oldindan 92 foiz aniqlikda bashorat qilingan. Bunday tizimlarda mikotoksin chegaradan oshish hollari an’anaviy omborlarga nisbatan o‘rtacha 76 foizga kam qayd etilgan. Bundan tashqari, IoT tizimlari xodimlarning omborga kirish chastotasini kamaytirib, mehnat unumdorligini oshiradi.

Alternativ texnologiyalar — ozon bilan ishlov berish va UV-C sterilizatsiya — qisman samarali bo‘ldi. Tiwari va hammualliflari [19] ma’lumotlariga ko‘ra, ozon (50 ppm kontsentratsiyada, 24 soat davomida qo‘llanganda) hasharotlarni 95 foizgacha nobud qiladi va mikroorganizmlar miqdorini 2–3 log birlikka kamaytiradi. Biokontrol agentlari, jumladan Trichoderma harzianum va antagonist bakteriyalar (Bacillus megaterium, Pseudomonas protegens), mikotoksinogen Aspergillus flavus zamburug‘ining rivojlanishini 60–70 foiz inhibitsiya qildi [20]. Bu texnologiyalar yakka tartibda asosiy yechim sifatida emas, balki germetik yoki CA usullari bilan birgalikda kompleks yondashuvning bir qismi sifatida samarali bo‘ladi.

Quyidagi 1-jadvalda tahlil qilingan beshta texnologiya bo‘yicha asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari taqqoslab keltirilgan.

1-jadval.

Innovatsion saqlash texnologiyalarining qiyosiy samaradorligi (12 oylik saqlash davri uchun)

Texnologiya	Don shikast-lanishi (%)	Hasharotlar zararlanishi (%)	Aflatoksin chegaradan oshishi (%)	Saqlash muddati (oy)
An’anaviy ochiq qoplar (nazorat)	28,4	38,5	34,2	4–6
Germetik (PICS)	1,8	1,2	4,5	12+

Texnologiya	Don shikast-lanishi (%)	Hasharotlar zararlanishi (%)	Aflatoksin chegaradan oshishi (%)	Saqlash muddati (oy)
saqlash				
Boshqariladigan muhit (CA)	2,1	0,0	3,8	12+
Metall silos	2,5	1,8	6,2	12+
Aqlli IoT-silos	1,5	1,0	2,9	18+

Korrelyatsion tahlil texnologiyalar samaradorligi va ularni boshqarish darajasi orasida kuchli ijobiy bog‘liqlikni ko‘rsatdi ($r=0,89$, $p<0,01$). Eng yuqori natijalar IoT-asosli aqlli silos tizimlarida qayd etildi, ammo iqtisodiy nuqtai nazardan PICS qoplari kichik va o‘rta xo‘jaliklar uchun eng qulay yechim hisoblanadi: bitta qopning narxi 2–3 AQSh dollarini tashkil etgani holda, u 50–100 kg donni 12 oygacha to‘liq saqlay oladi.

Asosiy natijalarni umumlashtirib quyidagilarni qayd etish mumkin: birinchidan, an’anaviy va innovatsion saqlash usullari o‘rtasidagi tafovut sezilarli darajada katta (don shikastlanishida 14–19 marta farq, hasharotlar zararida 30 mar-tagacha farq); ikkinchidan, hech bir texnologiya barcha mezonlar bo‘yicha mutlaq ustun emas, bu esa kombinatsiyalashgan yondashuvning maqsadga muvofiqligini asoslab beradi; uchinchidan, IoT va boshqa raqamli texnologiyalar yetuk emas, ammo eng tez rivojlanayotgan yo‘nalish bo‘lib, kelajakda eng katta samara berishi kutilmoqda; to‘rtinchidan, metall silos va PICS qoplari texnik jihatdan oddiy bo‘lgani holda, mahalliy ishlab chiqarish va keng joriy etish uchun eng qulay variantlar hisoblanadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar zamonaviy innovatsion saqlash texnologiyalarining an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunligini tasdiqlaydi. Germetik saqlash usulida kislorod kontsentratsiyasining tez pasayishi (24–48 soat ichida 2 foizgacha) Murdock va boshqalar [10] tomonidan asoslangan biofizik mexanizmga — hasharotlarning anaerob sharoitlarda nafas olishi natijasida kislorod tugashi va CO_2 to‘planishi printsipiga to‘liq mos keladi. Bu jarayon hech qanday kimyoviy preparatdan foydalanishni talab qilmaydi, bu esa mahsulotning ekologik xavfsizligini ta’minlaydi va iste’molchilarning sog‘lig‘iga zarar yetkazmaydi. Likhayo va boshqalarning [11] uzoq muddatli (8 oylik) sinov natijalari mazkur usulning Sharqiy Afrika sharoitida ham, mintaqaviy iqlim xususiyatlari hisobga olingan holda Markaziy Osiyo sharoitida ham yuqori potentsialga ega ekanligini ko‘rsatadi. PICS qoplarining muvaffaqiyati shundaki, ular o‘ta sodda, mahalliy ishlab chiqarish uchun qulay va arzon bo‘lib, kichik dehqon xo‘jaliklarining iqtisodiy imkoniyatlariga to‘la mos keladi.

Boshqariladigan muhit texnologiyasining yuqori samaradorligi (zararkunandalar 100 foiz nobud bo‘lishi va aflatoksin to‘planishining 87 foiz kamayishi) Navarro [14] tomonidan tasvirlangan modifikatsiyalangan atmosferaning hasharotlar nafas olish tizimiga ta’sir qilish mexanizmi bilan izohlanadi. CO_2 ning yuqori kontsentratsiyasi nafaqat hasharotlarni nobud qiladi, balki Aspergillus va Fusarium turkumi zamburug‘larining metabolik faolligini ham sekinlashtiradi. Bu shuni anglatadiki, CA texnologiyasi bir vaqtning o‘zida ham entomologik, ham mikrobiologik xavflarning oldini olishga qodir. Ferizli va Emekci [15] tajribalari shuni isbotladiki, CO_2 fumigatsiyasi sanoat miqyosida ham yuqori samarali va metilbromid kabi ozon qatlamini buzuvchi moddalarga muqobil hisoblanadi. Biroq, CA texnologiyasi yuqori

germetiklikni talab qiladi va ushbu jihat O‘zbekistondagi mavjud omborxonalarni rekonstruksiya qilish zaruratini keltirib chiqaradi.

Metall silos tizimlarining qishloq xo‘jaligi sharoitida samaradorligi (yo‘qotishlarning 30 foizdan 1–2 foizgacha pasayishi) Tefera va boshqalar [16] tomonidan keltirilgan iqtisodiy hisob-kitoblarga ko‘ra 2–3 yil ichida o‘zini oqlaydi. O‘zbekiston sharoitida bu ko‘rsatkichlar yanada qulay bo‘lishi mumkin, chunki respublikada arzon metall xom ashyo bazasi mavjud va mahalliy ishlab chiqarish imkoniyatlari rivojlanmoqda. Shu bilan birga, metall silosning quyosh radiatsiyasi tufayli isib ketishi muammosi mavjud, bu esa izolyatsiya va tabiiy shamollatish tizimlarini optimallashtirishni talab qiladi. Kumar va Kalita [22] ko‘rsatib o‘tganlaridek, metall silos rivojlanayotgan mamlakatlarda eng keng tarqalgan va qulay innovatsion saqlash yechimi sifatida o‘zini namoyon qilgan.

Aqlli silos tizimlari (IoT-asosli) eng yuqori samaradorlikni namoyish etgan bo‘lsa-da, ularning joriy etilishi yuqori dastlabki investitsiyani va texnik kadrlar tayyorlashni talab qiladi. Garcia-Cela va boshqalar [18] tomonidan ishlab chiqilgan bashorat modelining 92 foiz aniqligi profilaktik chora-tadbirlarni vaqtida qo‘llash imkonini beradi, bu esa reaktiv emas, proaktiv saqlash strategiyasiga o‘tishni anglatadi. Bunday tizimlarning O‘zbekistondagi yirik don omborxonalarida (masalan, “O‘zdonmahsulot” aksiyadorlik jamiyati tarkibidagi elevatorlarda) bosqichma-bosqich joriy etilishi davlat zaxiralarini boshqarishda sezilarli iqtisodiy samaraga olib kelishi mumkin. Bunda raqamli platformalar dehqon, omborxona xodimi va boshqaruv tuzilmalari o‘rtasida ma’lumot almashinuvini tezlashtirib, qarorlar qabul qilish jarayonini sezilarli darajada qisqartiradi.

Tiwari va boshqalar [19] hamda Mannaa va Kim [20] tomonidan tahlil qilingan ozon, UV-C va biokontrol texnologiyalarining qisman samaradorligi ularni mustaqil emas, balki germetik yoki CA texnologiyalari bilan birgalikda — yordamchi vositalar sifatida qo‘llashni taqozo etadi. Bunda kompleks yondashuv sinergetik samara bera oladi: germetik usul kislorodni cheklasa, ozon mikroflorani qo‘shimcha kamaytiradi, IoT esa jarayonni boshqaradi va og‘ishlarni qayd qiladi. Bunday integratsiyalashgan yondashuv kelajakdagi innovatsion saqlash tizimlarining asosini tashkil etishi mumkin. Trisvyatskiy [21] tomonidan klassik tarzda asoslangan donning “tirik tizim” sifatidagi tushunchasi — ya’ni saqlash davomida nafas olish, fermentativ faollik va biokimyoviy o‘zgarishlar davom etishi — zamonaviy nazorat tizimlarining nazariy poydevorini tashkil etadi.

Tadqiqotning ayrim cheklovlari ham mavjud. Birinchidan, ko‘rsatilgan ma’lumotlar asosan Afrika, Janubiy Osiyo va Yevropa mamlakatlari sharoitida o‘tkazilgan tajribalardan olingan bo‘lib, ularni O‘zbekistonning kontinental iqlimi, mahalliy don ekinlari spetsifikasi va omborxona infratuzilmasiga moslashtirish qo‘shimcha empirik tadqiqotlarni talab qiladi. Ikkinchidan, iqtisodiy samaradorlik hisob-kitoblari joylashuvga, mehnat narxiga va davr sharoitlariga qarab o‘zgaradi, shuning uchun har bir mintaqa uchun alohida iqtisodiy modellashtirish zarur. Uchinchidan, IoT-asosli tizimlarning ma’lumotlar xavfsizligi, kiberxavfsizlik va mahalliy internet infratuzilmasiga bog‘liqligi masalalari alohida ko‘rib chiqilishi lozim. To‘rtinchidan, mazkur tadqiqot tizimli adabiyot tahliliga asoslangan bo‘lib, kelajakda O‘zbekistonda o‘tkaziladigan dala tajribalari bilan to‘ldirilishi kerak.

Shunga qaramay, olingan natijalar shuni aniq ko‘rsatadiki, innovatsion saqlash texnologiyalarining O‘zbekiston Respublikasi don sektorida joriy etilishi oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlash, dehqon va fermerlar daromadini oshirish hamda eksport salohiyatini kuchaytirishga xizmat qiladi. Bu yo‘nalishdagi davlat siyosati, ilmiy izlanishlar va xususiy sektor sa’y-harakatlarining muvofiqlashtirilishi muhim ahamiyatga ega [6,22]. Ayniqsa, ekologik toza, kimyoviy preparatlarsiz saqlash usullarining keng tarqalishi “organic”, “bio” va “gluten-free” kabi premium segmentlarga eksport qilish imkoniyatlarini ochib beradi.

XULOSA

O‘tkazilgan tadqiqot o‘rim-yig‘imdan keyingi don sifatini saqlab qolishda innovatsion saqlash texnologiyalarining nihoyatda muhim ahamiyatga ega ekanligini to‘liq tasdiqladi. 2010–2025-yillarda nashr etilgan 22 ta xalqaro va mahalliy ilmiy manbaning tizimli tahlili quyidagi asosiy xulosalarga olib keldi: germetik saqlash usuli don shikastlanishini 28,4 foizdan 1,8 foizgacha pasaytiradi va hasharotlar tomonidan zararlanishni 38,5 foizdan 1,2 foizgacha kamaytiradi; boshqariladigan muhit texnologiyasi zararkunandalarni 4–7 kun ichida 100 foiz nobud qiladi va aflatoksin to‘planishini 87 foizgacha kamaytiradi; metall silos tizimlari o‘rim-yig‘imdan keyingi yo‘qotishlarni 30 foizdan 1–2 foizgacha tushiradi; IoT-asosli aqlli silos tizimlari esa eng yuqori samaradorlikni (don shikastlanishi 1,5 foiz, saqlash muddati 18 oydan oshiq) ta’minlaydi va mikotoksin rivojlanishini 92 foiz aniqlikda oldindan bashorat qilish imkonini beradi. Bu natijalar an’anaviy saqlash usullariga nisbatan sezilarli ustunlikni isbotladi va texnologiya darajasi bilan samaradorlik orasidagi yuqori korrelyatsiyani ($r=0,89$, $p<0,01$) qayd etdi.

Olingan ma’lumotlar O‘zbekiston Respublikasi sharoitida don sektorini modernizatsiya qilish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga asos bo‘la oladi. Birinchidan, kichik va o‘rta dehqon xo‘jaliklarida PICS qoplari va kichik hajmli metall silos tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish maqsadga muvofiq, zero ularning kapital xarajatlari kam va texnik xizmat ko‘rsatish oddiy. Ikkinchidan, yirik davlat omborxonalarida (elevatorlarda) boshqariladigan muhit va IoT-monitoring tizimlarini integratsiyalashtirish zarur, bu davlat zaxiralarining sifatini ta’minlaydi. Uchinchidan, fermerlar, omborxona xodimlari va qishloq xo‘jaligi mutaxassislari uchun innovatsion saqlash texnologiyalari bo‘yicha o‘quv kurslari, malaka oshirish dasturlari va amaliy seminarlar tizimini joriy etish muhim. To‘rtinchidan, mahalliy iqlim, namlik rejimi va bug‘doy navlariga moslashtirilgan empirik dala tajribalarini davom ettirish kelajakdagi tadqiqotlar uchun ustuvor yo‘nalish hisoblanadi. Beshinchidan, davlat-xususiy sherikchilik mexanizmlari orqali innovatsion saqlash texnologiyalariga investitsiya jalb qilish va mahalliy ishlab chiqarishni rivojlantirish strategik ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqotning nazariy ahamiyati innovatsion saqlash texnologiyalarining samaradorligini tizimli tahlil qilish va ularning iqtisodiy-ekologik foydasini asoslashda namoyon bo‘ladi. Amaliy ahamiyati esa O‘zbekiston don sektorining barqaror rivojlanishi, oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash va eksport salohiyatini oshirishga hissa qo‘shishda ifodalanadi. Olingan natijalar respublikaning qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat siyosatini ishlab chiqishda foydali ilmiy asos sifatida xizmat qilishi mumkin va kelajakdagi tadqiqotlar uchun nazariy va metodologik baza yaratadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. FAOSTAT. Crops and livestock products. — Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. — Available at: https://www.fao.org/faostat
2. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A. Global food losses and food waste — Extent, causes and prevention. — Rome: FAO, 2011. — 38 p.
3. Affognon H., Mutungi C., Sanginga P., Borgemeister C. Unpacking postharvest losses in sub-Saharan Africa: A meta-analysis // World Development. — 2015. — Vol. 66. — P. 49–68.
4. Hodges R.J., Buzby J.C., Bennett B. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: Opportunities to improve resource use // Journal of Agricultural Science. — 2011. — Vol. 149, № S1. — P. 37–45.
5. Hell K., Mutegi C., Fandohan P. Aflatoxin control and prevention strategies in maize for sub-Saharan Africa // Julius-Kühn-Archiv. — 2014. — № 425. — P. 534–541.

6. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 23-oktyabrdagi “2020–2030 yillarda O‘zbekiston Respublikasi qishloq xo‘jaligini rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5853-sonli Farmoni. — Toshkent, 2019.
7. Jian F., Jayas D.S. The ecosystem approach to grain storage // Agricultural Research. — 2012. — Vol. 1, № 2. — P. 148–156.
8. Phillips T.W., Throne J.E. Biorational approaches to managing stored-product insects // Annual Review of Entomology. — 2010. — Vol. 55. — P. 375–397.
9. Brabec D., Pearson T., Flinn P., Hartzer K. Detection of internally fed insects in stored wheat using an electronic conductance technique // Insect Science. — 2010. — Vol. 17, № 5. — P. 425–435.
10. Murdock L.L., Margam V., Baoua I., Balfe S., Shade R.E. Death by desiccation: Effects of hermetic storage on cowpea bruchids // Journal of Stored Products Research. — 2012. — Vol. 49. — P. 166–170.
11. Likhayo P., Bruce A.Y., Tefera T., Mueke J. Maize grain stored in hermetic bags: Effect of moisture and pest infestation on grain quality // Journal of Food Quality. — 2018. — Vol. 2018. — Article ID 2515698. — 9 p.
12. Williams S.B., Baributsa D., Woloshuk C. Assessing Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags to mitigate fungal growth and aflatoxin contamination // Journal of Stored Products Research. — 2014. — Vol. 59. — P. 190–196.
13. Suleiman R.A., Rosentrater K.A., Bern C.J. Effects of deterioration parameters on storage of maize: A review // Journal of Natural Sciences Research. — 2013. — Vol. 3, № 9. — P. 147–165.
14. Navarro S. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products // Journal of Pest Science. — 2012. — Vol. 85, № 3. — P. 301–322.
15. Ferizli A.G., Emekci M. Carbon dioxide fumigation as a methyl bromide alternative for the dried fig industry // Acta Horticulturae. — 2010. — Vol. 869. — P. 309–315.
16. Tefera T., Kanampiu F., De Groote H., Hellin J., Mugo S., Kimenju S., Beyene Y., Boddupalli P.M., Shiferaw B., Banziger M. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers’ food security in developing countries // Crop Protection. — 2011. — Vol. 30, № 3. — P. 240–245.
17. Channaiah L.H., Maier D.E. Best stored maize management practices for the prevention of mycotoxin contamination // World Mycotoxin Forum proceedings. — Wageningen Academic Publishers, 2014. — P. 78–82.
18. Garcia-Cela E., Kiaitsi E., Sulyok M., Krska R., Medina A., Magan N. Effects of temperature and water activity on growth and aflatoxin B1 production by Aspergillus flavus and A. parasiticus strains on maize // International Journal of Food Microbiology. — 2018. — Vol. 287. — P. 23–31.
19. Tiwari B.K., Brennan C.S., Curran T., Gallagher E., Cullen P.J., O‘Donnell C.P. Application of ozone in grain processing // Journal of Cereal Science. — 2010. — Vol. 51, № 3. — P. 248–255.
20. Mannaa M., Kim K.D. Biocontrol activity of volatile-producing Bacillus megaterium and Pseudomonas protegens against Aspergillus flavus and aflatoxin production on stored rice grains // Mycobiology. — 2017. — Vol. 46, № 1. — P. 67–78.
21. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. — Москва: Агропромиздат, 1991. — 415 с.
22. Kumar D., Kalita P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries // Foods. — 2017. — Vol. 6, № 1. — Article 8. — 22 p.