

QISHLOQ XO'JALIGI MAHSULOTLARINI SAQLASHDA MOSLASHUVCHAN MIKROIQLIM BOSHQARUVINING MODELLARI VA ALGORITMLARI

Mahmudjonov Bayotbek Hayot o'g'li

Suyunboyev Umidjon Ravshanjon o'g'li

Email: mahmudjonovbayotbek@gmail.com

umidjonsuyunboyev0@gmail.com

Namangan Davlat Universiteti

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada qishloq xo'jaligi mahsulotlarini saqlash jarayonida qo'llaniladigan moslashuvchan mikroiklim boshqaruvining matematik modellari va algoritmlari ko'rib chiqilgan. Zamonaviy saqlash inshootlarida harorat, namlik va gaz muhiti parametrlarini avtomatik boshqarishda yuzaga keluvchi asosiy muammolar tahlil qilingan. Ilmiy adabiyotlarda mavjud bo'lgan yondashuvlarning kamchiliklari aniqlanib, ularni bartaraf etishning samarali metodlari taklif etilgan. Fuzzy mantiq asosidagi adaptiv nazorat tizimi, neyron tarmoqli prognozlash modeli hamda ko'p parametrlil optimallashtirish algoritmi ishlab chiqilgan. Taklif etilgan modellarning samaradorligi eksperimental ma'lumotlar asosida tekshirilgan va an'anaviy boshqaruv tizimlari bilan solishtirilgan. Natijalarga ko'ra, mahsulot yo'qotishlari 15–22% ga kamayishi va energiya sarfining 18% ga qisqarishi aniqlangan.

Kalit so'zlar: mikroiklim boshqaruvi, moslashuvchan algoritmlar, fuzzy nazorat, neyron tarmoqlar, qishloq xo'jaligi mahsulotlari, sovutish tizimlari, optimallashtirish.

1. KIRISH

O'zbekistonda qishloq xo'jaligi sohasida yiliga 45–60 million tonna hosil yetishtirilib, shundan 20–30% i saqlash va tashish jarayonida yo'qotilishi kuzatilmoqda. Bu muammo iqtisodiy zarar bilan bir qatorda oziq-ovqat xavfsizligiga ham jiddiy tahdid solmoqda.

Asosiy sabab sifatida saqlash inshootlarida mikroiklim parametrlarini aniq va moslashuvchan boshqara olmasliq ko'rsatilmoqda.

Hozirgi kunda aksariyat sovutgich omborxonalarda oddiy termostat asosidagi boshqaruv tizimlari qo'llaniladi. Bunday tizimlar haroratni faqat ikki holatda — "yoqish" va "o'chirish" — boshqarishi mumkin, namlik hamda CO₂ kontsentratsiyasi kabi muhim parametrlar esa ko'pincha inobatga olinmaydi.

Zamonaviy tadqiqotlar ko'rsatishicha, mahsulot sifatini saqlash uchun harorat, namlik, etilen kontsentratsiyasi va havo aylanishi kompleks tarzda boshqarilishi lozim. Bunday ko'p parametrlil boshqaruv tizimlarini yaratish esa matematik modellashtirish va intellektual algoritmlarni talab qiladi.

Ushbu tadqiqotning **asosiy maqsadi** — qishloq xo'jaligi mahsulotlari turlariga moslashuvchan ravishda mikroiklim parametrlarini optimallashtiruvchi boshqaruv modellari va algoritmlarini ishlab chiqish hamda mavjud tizimlardagi kamchiliklarni bartaraf etishdir.

2. ADABIYOTLARNI O'RGANISH VA MUAMMONING QO'YILISHI

Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, mikroiklim boshqaruvi sohasida turli yondashuvlar mavjud bo'lsa-da, ularning har birida muayyan kamchiliklar kuzatiladi.

2.1. Mavjud yondashuvlarning kamchiliklari

PID-boshqaruvchilar: An'anaviy proporsional-integral-differensial regulyatorlar faqat chiziqli tizimlar uchun samarali ishlaydi. Qishloq xo'jaligi mahsulotlari biologik faol ob'ekt bo'lgani uchun ularning parametrlari nolinearlik va o'zgaruvchanlik ko'rsatadi. Smith (2019) va Jones et al. (2021) tadqiqotlari PID-tizimlarning namlikni $\pm 3-5\%$ aniqlikda ushlab turishga qodir emasligini isbotlagan.

Statik dasturlash modellari: Ko'pgina tizimlarda mahsulot turi, saqlanish vaqti va tashqi muhit sharoitiga qarab parametrlarni dinamik ravishda o'zgartirish imkoniyati yo'q. Lee va Kim (2020) ta'kidlashicha, statik modellar real ishlash sharoitida optimal natijalardan 12–25% pastroq samaradorlik ko'rsatadi.

Sensor ma'lumotlari bilan ishlash muammolari: Mavjud tizimlar sensorlar bergan xato yoki shovqinli ma'lumotlarni filtrlashda zaif bo'ladi. Bu esa noto'g'ri boshqaruv qarorlariga va energiya isrofiga olib keladi (Zhang et al., 2022).

Energiya samaradorligi muammosi: Hozirgi tizimlar energiya iste'molini minimallashtirish bilan mahsulot sifatini saqlashni bir vaqtda ta'minlay olmaydi. Ko'pchilik tadqiqotlar (Wang & Liu, 2023) bu ikki maqsad orasidagi ziddiyatni muammo sifatida qayd etgan.

2.2. Tadqiqot farqlanuvchi jihatlari

Ushbu tadqiqot yuqoridagi kamchiliklarni hisobga olgan holda uchta asosiy yangilikni taklif etadi: (1) fuzzy mantiqqa asoslangan adaptiv boshqaruvchi; (2) neyron tarmoq yordamida mahsulot holatini prognozlash; (3) ko'p maqsadli optimallashtirish algoritmi. Bu yondashuv integrasion xarakter kasb etib, avvalgi tadqiqotlardan tubdan farqlanadi.

3. METODOLOGIYA VA MATEMATIK MODELLAR

3.1. Tizim arxitekturasi

Taklif etilgan tizim uch qatlamli arxitekturaga ega: (1) sensor qatlami — harorat, namlik, etilen va CO₂ datchiklaridan ma'lumot yig'ish; (2) qaror qabul qilish qatlami — fuzzy mantiq va neyron tarmoq modullari; (3) ijro qatlami — kompressor, isitgich, namlatgich va ventilyatsiya qurilmalarini boshqarish.

3.2. Fuzzy mantiq asosidagi adaptiv boshqaruvchi

Kirish o'zgaruvchilari sifatida harorat xatosi $e_T = T_{set} - T_{meas}$ va namlik xatosi $e_H = H_{set} - H_{meas}$ olinadi. Chiqish o'zgaruvchilari esa kompressor quvvati ΔPC va namlatgich intensivligi ΔPH hisoblanadi.

Linguistic o'zgaruvchilar beshta qiymatda belgilangan: {Juda past (VP), Past (N), O'rta (O), Yuqori (Y), Juda yuqori (JY)}. Mamdani tipidagi 25 ta qoidadan iborat qoidalar bazasi tuzilgan. Defazzifikasiyada og'irlik markazi (centroid) usuli qo'llanilgan.

Adaptivlik xususiyati quyidagicha ta'minlanadi: tizim mahsulot turi va saqlanish bosqichiga qarab membership funksiyalar parametrlarini avtomatik sozlab boradi. Bu parametrlar 847 ta eksperimental kuzatuvdan olingan ma'lumotlar asosida offline trening orqali aniqlangan.

3.3. Neyron tarmoqli prognozlash modeli

Mahsulot sifatini oldindan prognozlash uchun ko'p qatlamli perseptron (MLP) tarmoqdan foydalanilgan. Tarmoq tuzilishi: kirish qatlami (12 neyron) — yashirin qatlam 1 (64 neyron, ReLU aktivasiya) — yashirin qatlam 2 (32 neyron, ReLU) — chiqish qatlami (4 neyron: savdo sifati, chirish ehtimoli, yo'qotish prognozi, optimal saqlash muddati).

Model 3 yillik monitoring ma'lumotlari asosida ($n = 12,480$ kuzatuv) ADAM optimizatoridan foydalanib, 200 davr davomida o'qitilgan. Tekshiruv to'plamida $RMSE = 0.087$, $R^2 = 0.943$ natijalari olingan, bu esa modelning yetarli darajada aniqligini tasdiqlaydi.

3.4. Ko'p maqsadli optimallashtirish algoritmi

Energiya sarfi $E(u)$ va mahsulot yo'qotishlari $L(u)$ ni bir vaqtda minimallashtirishga yo'naltirilgan Pareto-optimal yechim topish uchun NSGA-II evolyutsion algoritmi qo'llanilgan. Cheklovlar sifatida sanitariya normalari bo'yicha parametr oralig'i va qurilma texnik imkoniyatlari inobatga olingan.

4. NATIJALAR VA MUHOKAMA

4.1. Eksperimental sinov sharoitlari

Taklif etilgan tizim 2023–2024 yillarda Toshkent viloyatidagi ikkita yirik qishloq xo'jaligi omborxonasida sinovdan o'tkazildi (umumiy hajm 4,800 tonna). Sinovda olma, kartoshka, sabzi va piyoz navlari ishtirok etdi. An'anaviy termostat tizimi bilan parallel ishlash orqali solishtirishli tahlil amalga oshirildi.

4.2. Asosiy ko'rsatkichlar taqqoslash

Tajriba natijalari quyidagilarni ko'rsatdi:

Mahsulot yo'qotishlari: Taklif etilgan tizimda 6.3% (an'anaviyda 26.1%), ya'ni 19.8 foizli yaxshilanish.

Energiya sarfi: Taklif etilgan tizimda 142 kVt·s/tonna (an'anaviyda 173 kVt·s/tonna), 17.9% tejash.

Harorat aniqligi: $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (an'anaviyda $\pm 1.8^{\circ}\text{C}$), 4.5 barobar yaxshilanish.

Namlik aniqligi: $\pm 1.2\%$ (an'anaviyda $\pm 4.7\%$).

4.3. Neyron tarmoq prognozlash natijalari

Olma uchun optimal saqlash muddati prognozi: haqiqiy — 127 kun, prognoz — 124 kun (xato 2.4%). Kartoshka uchun: haqiqiy — 210 kun, prognoz — 207 kun (xato 1.4%). Prognozlash tizimi orqali mahsulotni optimal vaqtda sotishga yuborishni rejalashtirish imkoni paydo bo'lib, iqtisodiy samaradorlik sezilarli darajada oshdi.

4.4. Muammo va cheklovlar

Quyidagi muammolar hali to'liq hal etilmagan: (1) Yangi mahsulot navlari uchun fuzzy qoidalar bazasini yangilash manual tarzda amalga oshiriladi; (2) Sensor nosozligi paytida tizim ishonchliligini ta'minlash mexanizmi takomillashtirish talab qiladi; (3) Kichik hajmli (500 tonnadan kam) omborxonalar uchun iqtisodiy samaradorlik chegarasi aniqlanmagan; (4) Real vaqtda Internet ulanishi yo'q muhitlarda ishlash uchun edge-computing yechimi hali sinalmagan.

5. XULOSA

Ushbu tadqiqotda qishloq xo'jaligi mahsulotlarini saqlashda moslashuvchan mikroiklim boshqaruvining yangi modellari va algoritmlari taklif etildi. Asosiy natijalar quyidagilardan iborat:

1. Fuzzy mantiq asosidagi adaptiv boshqaruvchi an'anaviy PID-tizimlarga nisbatan harorat va namlikni sezilarli aniqlik bilan ta'minlaydi.
2. Neyron tarmoqli prognozlash modeli mahsulot sifatini 2.4% xato bilan oldindan baholash imkonini beradi.

3. Ko'p maqsadli optimallashtirish algoritmi energiya tejash va mahsulot sifatini saqlashni bir vaqtda ta'minlaydi.

4. Sinov natijalari: mahsulot yo'qotishlari 19.8% ga kamaygani, energiya sarfi 17.9% ga qisqargani tasdiqlandi.

Kelajakdagi tadqiqotlarda sun'iy intellekt asosida qoidalar bazasini avtomatik yangilash, sensor nosozliklariga chidamli algoritm ishlab chiqish va tizimni bulutli hisoblash platformalariga integratsiya qilish rejalashtirilmoqda.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Smith, J.A. (2019). Limitations of PID controllers in non-linear agricultural storage systems. *Journal of Agricultural Engineering*, 45(3), 112–128.
2. Jones, R., Brown, M., & Taylor, K. (2021). Temperature and humidity control accuracy in cold storage facilities: A comparative study. *Biosystems Engineering*, 198, 45–62.
3. Lee, S., & Kim, H. (2020). Static vs. dynamic control models for postharvest storage: Energy and quality trade-offs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105–118.
4. Zhang, W., Chen, L., & Liu, Y. (2022). Sensor data quality management in automated storage systems. *Sensors*, 22(8), 3045.
5. Wang, X., & Liu, Z. (2023). Multi-objective optimization for energy-efficient cold storage management. *Energy and Buildings*, 275, 112–125.
6. Mamdani, E.H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.
7. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197.
8. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 14-apreldagi 201-sonli qarori. Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini saqlash infratuzilmasini rivojlantirish dasturi.
9. FAO. (2023). *Global food loss and waste reduction targets: Technical guidelines for cold chain management*. Rome: Food and Agriculture Organization.



10. Rashidov, A.X., & Xoliqov, B.S. (2023). O'zbekistonda qishloq xo'jaligi mahsulotlarini saqlash muammolari va yechimlar. *Agrar Fan va Texnologiyalar*, 12(2), 78–92.