

UDK: 664:006.83:004

ОЗИQ-OVQAT XAVFSIZLIGI MONITORINGIDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Ahmadova Aziza Bektosh qizi

Mustaqil tadqiqotchi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22952111>

Annotatsiya. Maqolada oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish tizimlarida (ISO 22000, HACCP) monitoring jarayonini takomillashtiruvchi raqamli texnologiyalar nazariy jihatdan tahlil qilingan. Raqamli texnologiyalar funksiyasiga ko'ra xavflarni o'lchash va aniqlash (biosensorlar, aqlli sensorlar va Internet of Things), ma'lumotni uzatish va kuzatuvchanlik (radiochastotali identifikatsiya va blokcheyn) hamda tahlil va bashorat (bashoratli mikrobiologiya va sun'iy intellekt) nuqtai nazaridan ko'rib chiqilgan. Tahlil ko'rsatadiki, ushbu texnologiyalar birgalikda "Food Safety 4.0" konsepsiyasi doirasida monitoringni davriy laboratoriya tekshiruvidan uzluksiz, risk-asoslangan va ma'lumotga tayangan nazoratga aylantiradi hamda HACCP ning monitoring va verifikatsiya tamoyillarini kuchaytiradi. Shu bilan birga, texnologik yechimlarning samarasi oziq-ovqat xavfsizligi madaniyati va inson omili bilan uzviy bog'liq bo'lib, yuqori narx, tartibga solish, validatsiya va o'zaro moslik masalalari ularni keng joriy etishni cheklaydi. Xulosalar O'zbekistonning eksportga yo'naltirilgan oziq-ovqat korxonalarida raqamli monitoringni bosqichma-bosqich joriy etish uchun nazariy va amaliy asos beradi.

Kalit so'zlar: oziq-ovqat xavfsizligi, monitoring, ISO 22000, HACCP, Food Safety 4.0, biosensorlar, Internet of Things, blokcheyn, bashoratli mikrobiologiya, sun'iy intellekt, kuzatuvchanlik.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. В статье теоретически проанализированы цифровые технологии, совершенствующие мониторинг в системах менеджмента безопасности пищевой продукции (ISO 22000, HACCP). Технологии рассмотрены с точки зрения их функции: измерение и обнаружение опасностей (биосенсоры, интеллектуальные датчики и Интернет вещей), передача данных и прослеживаемость (RFID и блокчейн), а также анализ и прогнозирование (прогностическая микробиология и искусственный интеллект). Показано, что в рамках концепции «Food Safety 4.0» эти технологии превращают мониторинг из периодического лабораторного контроля в непрерывный, риск-ориентированный и основанный на данных, усиливая принципы мониторинга и верификации HACCP. Вместе с тем эффективность технологических решений тесно связана с культурой безопасности пищевой продукции и человеческим фактором, а высокая стоимость, вопросы регулирования, валидации и совместимости ограничивают их широкое внедрение. Выводы дают теоретическую и практическую основу для поэтапного внедрения цифрового мониторинга на экспортно-ориентированных пищевых предприятиях Узбекистана.

Ключевые слова: безопасность пищевой продукции, мониторинг, ISO 22000, HACCP, Food Safety 4.0, биосенсоры, Интернет вещей, блокчейн, прогностическая микробиология, искусственный интеллект, прослеживаемость.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN FOOD SAFETY MONITORING

Abstract. This article provides a theoretical analysis of the digital technologies that enhance monitoring within food safety management systems (ISO 22000, HACCP). The technologies are considered according to their function: the measurement and detection of hazards (biosensors, smart sensors and the Internet of Things), data transmission and traceability (RFID and blockchain), and analysis and prediction (predictive microbiology and artificial intelligence). It is shown that, within the Food Safety 4.0 concept, these technologies transform monitoring from periodic laboratory testing into continuous, risk-based and data-driven control, reinforcing the HACCP principles of monitoring and verification. At the same time, the effectiveness of technological solutions is closely tied to food safety culture and the human factor, while high cost, regulatory, validation and interoperability issues constrain their wide adoption. The conclusions provide a theoretical and practical basis for the phased introduction of digital monitoring at export-oriented food enterprises of Uzbekistan.

Key words: food safety, monitoring, ISO 22000, HACCP, Food Safety 4.0, biosensors, Internet of Things, blockchain, predictive microbiology, artificial intelligence, traceability.

KIRISH

Oziq-ovqat xavfsizligi zamonaviy dunyoda global sog'liqni saqlash va iqtisodiy barqarorlikning markaziy masalalaridan biriga aylangan. Jahon sog'liqni saqlash tashkilotining ma'lumotlariga ko'ra, har yili dunyoda xavfsiz bo'lmagan oziq-ovqat iste'moli taxminan 600 million kasallanish va 420 ming o'limga sabab bo'ladi [8]. Oziq-ovqat zanjirining globallasuvi, xom ashyoning turli mintaqalardan keltirilishi va logistikaning murakkablashuvi xavf manbalarini ko'paytiradi. Bu sharoitda oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash tayyor mahsulotni tekshirishga emas, balki butun zanjir bo'ylab profilaktik, tizimli va hujjatlashtirilgan boshqaruvga tayanishi zarur.

Nazariy jihatdan oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish konsepsiyasi so'nggi o'n yilliklarda yakuniy nazoratdan profilaktik, jarayonga yo'naltirilgan tizimlarga qarab rivojlandi. ISO 22000 standarti ISO 9001 sifat menejmenti tizimi va HACCP tamoyillarini yagona, auditga yaroqli va risk-asoslangan tizimga birlashtirib, bu evolyutsiyaning eng yuqori bosqichini ifodalaydi [7, 17]. Ushbu tizimda monitoring markaziy o'rin tutadi: HACCP ning to'rtinchi tamoyili sifatida u kritik nazorat nuqtalarining (KNN) rejali o'lchovini ta'minlaydi va kritik chegara buzilishidan oldin nazorat yo'qolganini aniqlashi shart, verifikatsiya esa tizimning rejalanganidek ishlashini davriy tasdiqlaydi [7, 10]. Biroq an'anaviy monitoring ko'pincha davriy, laboratoriyaga bog'liq va natijani kechikish bilan beruvchi bo'lib, uzluksiz nazorat idealidan uzoqdir.

Aynan shu tafovut oziq-ovqat xavfsizligining raqamli transformatsiyasini, ya'ni "Food Safety 4.0" konsepsiyasini yuzaga keltirdi. Bu yondashuv Industriya 4.0 ning aqlli sensorlar, Internet of Things, katta ma'lumotlar, blokcheyn va sun'iy intellekt kabi vositalarini oziq-ovqat xavfsizligiga tatbiq etib, real vaqtli monitoring, bashoratli tahlil, kuchaytirilgan kuzatuvchanlik va

iste'molchini xabardor qilish imkonini beradi [3, 4]. Shu tariqa monitoring davriy tekshiruvdan uzluksiz, ma'lumotga asoslangan va profilaktik nazoratga o'tadi.

O'zbekistonda 2025-yilda "Oziq-ovqat xavfsizligi to'g'risida"gi Qonun (O'RQ-1023-son) qabul qilinishi bilan xalqaro talablarga mos zamonaviy nazorat tizimlarini joriy etish yanada dolzarblashdi [16]. Mamlakatning eksportga yo'naltirilgan tarmoqlari uchun mahsulot xavfsizligini real vaqtda kuzatish va kuzatuvchanlikni ta'minlash strategik ahamiyatga ega. Shu bilan birga, raqamli texnologiyalarni oziq-ovqat xavfsizligi monitoringiga joriy etishning nazariy-uslubiy asoslari, ayniqsa ularning ISO 22000 tamoyillari bilan bog'liqligi milliy adabiyotda yetarli tahlil qilinmagan. Mazkur maqolaning maqsadi raqamli monitoring texnologiyalarini nazariy jihatdan tizimlashtirish, ularni ISO 22000 asosidagi boshqaruv tizimi bilan bog'lash va O'zbekiston sharoitida joriy etish istiqbollarini asoslashdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Tadqiqot tahliliy (sharh) xususiyatga ega bo'lib, oziq-ovqat xavfsizligi monitoringidagi raqamli texnologiyalar bo'yicha zamonaviy ilmiy adabiyot tahliliga tayanadi. Manbalar PubMed, Scopus va Web of Science bazalaridan tanlanib, ularning ishonchliligi raqamli identifikator (DOI) orqali tekshirildi; asosan 2018–2026-yillarda chop etilgan sharh va tadqiqot maqolalariga e'tibor qaratildi.

Raqamli monitoring vositalari oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish jarayonidagi funksiyasiga ko'ra ko'rib chiqiladi. Ularning bir qismi xavf va jarayon parametrlarini bevosita o'lchaydi va aniqlaydi, boshqasi ma'lumotni zanjir bo'ylab uzatadi hamda mahsulotni kuzatadi, yana bir qismi esa to'plangan ma'lumotni tahlil qilib, xavfni oldindan baholaydi. Ushbu funksiyalar o'zaro uzviy bog'liq bo'lib, birgalikda uzluksiz monitoring jarayonini hosil qiladi va HACCP ning o'lchash, qayd etish hamda tuzatuvchi qaror qabul qilish mantiqiga mos keladi. Har bir texnologiyaning ishlash tamoyili, afzalliklari, cheklovlari hamda ISO 22000 tamoyillari bilan bog'liqligi izchil tahlil qilinadi.

NATIJA VA MUHOKAMA

Oziq-ovqat xavflarini bevosita aniqlashda biosensorlar muhim o'rin tutadi. Biosensor mohiyatan biologik taniydigan element (fermentlar, antitanalar, DNK, aptamerlar yoki hujayralar) va uni o'lchanadigan signalga aylantiruvchi transduserdan iborat qurilma bo'lib, u patogen bakteriyalar, toksinlar va kimyoviy qoldiqlarni tez, sezgir va portativ tarzda aniqlash imkonini beradi. Elektrokimyoviy biosensorlar yuqori tezlik, past narx va ko'chma qo'llash imkoniyati bilan an'anaviy mikrobiologik usullarga muqobil sifatida namoyon bo'lmoqda [1]. Qog'ozga asoslangan elektrokimyoviy qurilmalar arzon, kam namuna talab qiladigan va dala sharoitiga mos vositalardir [12], gigant magnitorezistiv (GMR) biosensorlar esa tirnoq o'lchamidagi maydonga yuzlab sensorni joylashtirib, yuqori unumli skriningni ta'minlaydi [13]. Nanomateriallar va aptamerlarga asoslangan tizimlar sezgirlikni yanada oshiradi [9, 25], zamonaviy sharhlar esa biosensorlarni immunologik va molekulyar, jumladan CRISPR/Cas, usullar bilan birlashtirish aniqlik va samaradorlikni kuchaytirishini ko'rsatadi [6]. Nazariy jihatdan biosensorlar HACCP ning monitoring va verifikatsiya tamoyillarini kuchaytiradi, chunki ular kritik nazorat nuqtalarida real vaqtda o'lchov va tezkor tasdiqlash imkonini beradi.

Aqlli sensorlar harorat, namlik, pH va gaz tarkibi kabi parametrlarni real vaqtda o'lchab, kritik nazorat nuqtalaridagi ma'lumotni uzluksiz to'playdi. Internet of Things tarmoqlariga ulangan sensorlar, harorat-vaqt indikatorlari va avtomatlashtirilgan tizimlar ishlab chiqarish va sovuq zanjirdagi chetlanishlarni erta aniqlaydi [4, 20]. Integratsiyalashgan sensor tizimlari hatto birlamchi ishlab chiqarish, ya'ni ekin yetishtirish, sug'orish suvi va pestitsid qoldiqlarini nazorat qilish bosqichida ham arzon va uzluksiz kuzatuvni ta'minlashi mumkinligi ko'rsatilgan [18]. Nazariy nuqtai nazardan bunday vositalar monitoringni davriy, inson kuzatuviga bog'liq tekshiruvdan avtomatlashtirilgan, uzluksiz o'lchovga aylantiradi va shu bilan HACCP monitoring idealiga yaqinlashtiradi.

Aniqlangan va o'lchangan ma'lumotning qiymati uning zanjir bo'ylab ishonchli uzatilishi va mahsulotning kuzatilishiga bog'liq. Kuzatuvchanlik nazariyasida ichki (korxona ichidagi) va tashqi (bir bosqich orqaga — bir bosqich oldinga) kuzatuvchanlik ajratiladi; radiochastotali identifikatsiya (RFID) va sensor tarmoqlari mahsulot partiyalarini avtomatik belgilash orqali bu tizimning asosini tashkil etadi [19]. Kuzatuvchanlik ifloslanish manbasini tez aniqlash va nomuvofiq mahsulotni o'z vaqtida iste'moldan chiqarish uchun zarur; tadqiqotlar tizim joriy etilgach yozuvlarning mavjudligi yaxshilanib, kuzatuvchanlik vaqti qisqarishini miqdoriy ko'rsatadi [5]. Global miqyosda kuzatuvchanlik talablari va axborot tizimlari uyg'unlashtirilmoqda [2, 24].

Blokcheyn texnologiyasi ma'lumot yaxlitligi va ishonch muammosini nazariy jihatdan hal qiladi: u zanjir ma'lumotlarini markazlashmagan, shaffof va o'zgarmas reyestrda saqlaydi. RFID, sensor tarmoqlari va ma'lumot qazib olish bilan birlashtirilganda, blokcheyn xavfsiz bo'lmagan mahsulotlarni zanjirdan chiqarishga va manbani ishonchli aniqlashga xizmat qiladi [19]. Nanozarrachaga asoslangan aniqlash tizimlari Internet of Things va blokcheyn bilan integratsiyalanib, real vaqtli ifloslanish ogohlantirishlari va uzluksiz kuzatuvchanlikni ta'minlamoqda [9]. Shu tariqa uzatish va kuzatuvchanlik vositalari o'lchov ma'lumotini ishonchli, auditga yaroqli dalilga aylantiradi.

To'plangan ma'lumotni tahlil qilib, xavfni oldindan baholash monitoringning eng murakkab vazifasidir. Bashoratli mikrobiologiya mikroorganizmlarning o'sishi, yashovchanligi va saqlash muddatini matematik modellar orqali baholaydi hamda ichki (mahsulot) va tashqi (muhit) omillarning o'zaro ta'sirini tenglamalar sifatida ifodalaydi; bu modellar HACCP ning xavf tahlili va kritik chegaralarni asoslash bosqichlariga bevosita integratsiya qilinadi [20]. Zamonaviy modellar butun genom sekvenirlash, metagenomika, sun'iy intellekt va mashinali o'rganish bilan boyitilib, dinamik sharoitlarda mikrobiologik xavfni yuqori aniqlikda bashorat qilmoqda [20].

Sun'iy intellekt va mashinali o'rganish bu yo'nalishning eng jadal rivojlanayotgan qismi bo'lib, agrar-ozuq-ovqat tizimlarida yig'ilgan katta ma'lumotlarni tahlil qiladi, xavfni bashorat qiladi va kuzatuvchanlikni kuchaytiradi [14, 22]. Mashinali o'rganish algoritmlari, xususan, nanosensor massivlaridan olinadigan murakkab, ko'p o'lchovli signallarni ishonchli natijaga aylantirishda samaralidir [23]. Tartibga soluvchi organlar ham sun'iy intellekt va real dunyo ma'lumotlaridan foydalanish, ularni tartibga solish ilmi integratsiya qilish imkoniyatlarini

o'rganmoqda [21]. Bibliometrik tahlillar sun'iy intellektning oziq-ovqat xavfsizligidagi qo'llanilishi so'nggi o'n yillikda jadal o'sganini tasdiqlaydi [14].

Sanab o'tilgan vositalar alohida emas, balki yagona, uzluksiz jarayon sifatida ishlaydi: o'lchash xavf va parametrlarni qayd etadi, uzatish va kuzatuvchanlik ularni ishonchli, auditga yaroqli dalilga aylantiradi, tahlil esa xavfni bashorat qilib, tuzatuvchi qaror uchun asos yaratadi va natija keyingi o'lchovni yo'naltiradi. Ushbu izchillik ISO 22000:2018 ning risk-asoslangan fikrlash va ikki darajali "Rejalashtir-Bajar-Tekshir-Choralar ko'r" (PDCA) tsikli bilan mos keladi: raqamli vositalar tizimni uzluksiz yangilanadigan va ma'lumotga asoslangan qiladi [3, 7, 10]. "Food Safety 4.0" konsepsiyasi aynan shu integratsiyani, ya'ni aqlli qurilmalar, real vaqqli monitoring, bashoratli tahlil va kuzatuvchanlikning birlashuvini ifodalaydi [3].

Shu bilan birga, raqamli monitoringning samarasi faqat texnologiya bilan emas, balki tashkiliy va inson omillari bilan ham belgilanadi. Oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish tizimlarining evolyutsiyasi va madaniy asoslari tahlili shuni ko'rsatadiki, tizimning texnik tarkibiy qismlari nisbatan barqaror qolgan holda, ularning real samarasi tobora ko'proq tashkiliy madaniyat bilan belgilanmoqda [15]. Hatto ilg'or texnologiya ham xodimlar belgilangan tartiblarga izchil rioya qilmasa samarasiz qoladi. Shu sababli raqamli monitoring tizimlari xodimlarni o'qitish, oziq-ovqat xavfsizligi madaniyatini shakllantirish va ijtimoiy-texnik integratsiya bilan uyg'un holda joriy etilishi lozim.

Raqamli texnologiyalarni keng joriy etish, biroq, bir qator tizimli to'siqlar bilan bog'liq. Bularga yuqori ishlab chiqarish narxi va masshtablashtirish qiyinchiliklari, yangi usullarni an'anaviy etalon usullarga nisbatan validatsiyalash va tartibga solish tomonidan tan olinishi zarurati, tizimlararo o'zaro moslik (interoperability) hamda ma'lumotlarni boshqarish muammolari va malaka yetishmovchiligi kiradi [9, 21, 4]. O'tish iqtisodiyotiga ega mamlakatlarda oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish tizimlarining samaradorligi davlat, tarmoq, chakana savdo va korxona darajasidagi kamchiliklar bilan chambarchas bog'liq bo'lib, bu ko'p pog'onali yondashuvni talab qiladi [11]. Ayniqsa kichik va o'rta korxonalar uchun sohalararo hamkorlik, arzon yechimlar va tegishli tartibga solish bazasi zarur bo'lib qoladi.

Milliy miqyosda O'zbekistonning eksportga yo'naltirilgan quruq meva, sut hamda non va un tarmoqlari uchun real vaqqli monitoring va kuzatuvchanlik tizimlari xalqaro bozor talablariga muvofiqlikni ta'minlashda muhim vosita bo'lishi mumkin. Bu texnologiyalarni bosqichma-bosqich joriy etish maqsadga muvofiq: dastlab arzon biosensorlar, harorat-vaqt indikatorlari va sodda kuzatuvchanlik tizimlari, keyingi bosqichda esa blokcheyn hamda sun'iy intellektga asoslangan tahlil vositalari. Bunday yondashuv O'RQ-1023-son Qonun talablariga mos zamonaviy nazorat tizimini shakllantirishga xizmat qiladi [16].

XULOSA

Raqamli texnologiyalar oziq-ovqat xavfsizligi monitoringini davriy laboratoriya tekshiruvidan uzluksiz, risk-asoslangan va ma'lumotga tayangan nazoratga aylantirmoqda. Ushbu vositalarni funksiyasiga ko'ra xavflarni o'lchash va aniqlash, ma'lumotni uzatish va kuzatuvchanlik hamda tahlil va bashorat nuqtai nazaridan ko'rib chiqish ularni yagona konseptual doirada ISO 22000 va HACCP tamoyillari bilan bog'lash imkonini beradi. Biosensorlar va aqlli

sensorlar kritik nazorat nuqtalari monitoringini real vaqtga aylantiradi, RFID va blokcheyn kuzatuvchanlik hamda ma'lumot yaxlitligini ta'minlaydi, bashoratli mikrobiologiya va sun'iy intellekt esa xavfni oldindan bashorat qiladi; ularning birlashuvi "Food Safety 4.0" konsepsiyasini tashkil etadi va tizimning uzluksiz takomillashuvini ma'lumotga asoslangan qiladi. Shu bilan birga, texnologik yechimlarning samarasi oziq-ovqat xavfsizligi madaniyati va inson omili bilan uzviy bog'liq bo'lib, narx, validatsiya, tartibga solish va o'zaro moslik masalalari ularni keng joriy etishni cheklaydi. O'zbekistonning eksportga yo'naltirilgan oziq-ovqat korxonalari uchun raqamli monitoring vositalarini bosqichma-bosqich joriy etish mahsulot xavfsizligi, kuzatuvchanlik va xalqaro raqobatbardoshlikni oshirishning istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Ávila Oliveira, B. D., Gomes, R. S., de Carvalho, A. M., Lima, E. M. F., Pinto, U. M., & da Cunha, L. R. (2024). Revolutionizing food safety with electrochemical biosensors for rapid and portable pathogen detection. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55(3), 2511–2525. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01427-6>
2. Charlebois, S., Sterling, B., Haratifar, S., & Naing, S. K. (2014). Comparison of global food traceability regulations and requirements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1104–1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12101>
3. Chen, Y., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, X., Zhang, C., & Cheng, N. (2024). Intelligent biosensors promise smarter solutions in Food Safety 4.0. *Foods*, 13(2), 235. <https://doi.org/10.3390/foods13020235>
4. Dhar, P., Bhowmik, A., Nath, P. C., et al. (2026). Smart technologies in food safety and quality monitoring: A review of technological advances, opportunities and challenges. *Journal of Food Process Engineering*, 49(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.70367>
5. Dzwolak, W. (2015). Practical aspects of traceability in small food businesses with implemented food safety management systems. *Journal of Food Safety*, 36(2), 203–213. <https://doi.org/10.1111/jfs.12232>
6. Gao, R., Liu, X., Xiong, Z., Wang, G., & Ai, L. (2024). Research progress on detection of foodborne pathogens: The more rapid and accurate answer to food safety. *Food Research International*, 193, 114767. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114767>
7. ISO. (2018). ISO 22000:2018. Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. International Organization for Standardization.
8. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (WHO). (2015). WHO estimates of the global burden of foodborne diseases. WHO.
9. Jangid, H., Panchpuri, M., Dutta, J., et al. (2025). Nanoparticle-based detection of foodborne pathogens: Addressing matrix challenges, advances, and future perspectives in food safety. *Food Chemistry: X*, 29, 102696. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102696>
10. Kotsanopoulos, K. V., & Arvanitoyannis, I. S. (2017). The role of auditing, food safety, and food quality standards in the food industry: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 760–775. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12293>

11. Kussaga, J. B., Jacxsens, L., Tiisekwa, B. P., & Luning, P. A. (2014). Food safety management systems performance in African food processing companies: A review of deficiencies and possible improvement strategies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(11), 2154–2169. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6575>
12. Kuswandi, B., Hidayat, M. A., & Noviana, E. (2022). Paper-based electrochemical biosensors for food safety analysis. *Biosensors*, 12(12), 1088. <https://doi.org/10.3390/bios12121088>
13. Liang, S., Sutham, P., Wu, K., Mallikarjunan, K., & Wang, J.-P. (2022). Giant magnetoresistance biosensors for food safety applications. *Sensors*, 22(15), 5663. <https://doi.org/10.3390/s22155663>
14. Liu, Z., Wang, S., Zhang, Y., Feng, Y., Liu, J., & Zhu, H. (2023). Artificial intelligence in food safety: A decade review and bibliometric analysis. *Foods*, 12(6), 1242. <https://doi.org/10.3390/foods12061242>
15. Manning, L., Luning, P. A., & Wallace, C. A. (2019). The evolution and cultural framing of food safety management systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12484>
16. O‘zbekiston Respublikasi. (2025). “Oziq-ovqat xavfsizligi to‘g‘risida”gi Qonun, O‘RQ-1023-son (3-fevral). <https://lex.uz/docs/-7359113>
17. Panghal, A., Chhikara, N., Sindhu, N., & Jaglan, S. (2018). Role of food safety management systems in safe food production: A review. *Journal of Food Safety*, 38(4). <https://doi.org/10.1111/jfs.12464>
18. Radogna, A. V., Latino, M. E., Menegoli, M., et al. (2022). A monitoring framework with integrated sensing technologies for enhanced food safety and traceability. *Sensors*, 22(17), 6509. <https://doi.org/10.3390/s22176509>
19. Singh, A., Gutub, A., Nayyar, A., & Khan, M. K. (2022). Redefining food safety traceability system through blockchain: Findings, challenges and open issues. *Multimedia Tools and Applications*, 82(14), 21243–21277. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-14006-4>
20. Taiwo, O. R., Onyeaka, H., Oladipo, E. K., Oloke, J. K., & Chukwugozie, D. C. (2024). Advancements in predictive microbiology: Integrating new technologies for efficient food safety models. *International Journal of Microbiology*, 2024, 6612162. <https://doi.org/10.1155/2024/6612162>
21. Thakkar, S., Slikker, W., Yiannas, F., et al. (2023). Artificial intelligence and real-world data for drug and food safety — A regulatory science perspective. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 140, 105388. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2023.105388>
22. van Meer, F., Takeuchi, M., Ochieng, P. E., Tavelli, R., Gerssen, A., & van der Velden, B. H. M. (2026). Artificial intelligence in food safety. *NPJ Science of Food*. <https://doi.org/10.1038/s41538-026-00925-1>
23. Yu, Z., Zhao, Y., & Xie, Y. (2024). Ensuring food safety by artificial intelligence-enhanced nanosensor arrays. *Advances in Food and Nutrition Research*, 111, 139–178. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2024.06.003>

24. Zhang, Y., & Bhatt, T. (2014). Traceability and food safety information systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1124–1142. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12103>
25. Zhou, B., Khan, I. M., Ding, X., Niazi, S., Zhang, Y., & Wang, Z. (2024). Fluorescent DNA-silver nanoclusters in food safety detection: From synthesis to application. *Talanta*, 273, 125834. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125834>