

OZIQ-OVQAT XAVFSIZLIGI TIZIMLARI MUVOFIQLIGINI BAHOLASHDA BLOKCHEYN TEXNOLOGIYASIDAN FOYDALANISHNING ILMIY VA AMALIY ISTIQBOLLARI

To'rayev Azizbek To'qlin o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti assistenti

e-mail: azizbektorayev500@gmail.com

tel.: +998(90) 673-36-69

Annotatsiya:

Mazkur maqolada an'anaviy oziq-ovqat mahsulotlari xavfsizligi muvofiqligini baholash tizimlarida iste'molchilar ishonchini ta'minlash uchun takomillashtirilgan tizimlarga bo'lgan dolzarb ehtiyoj ko'rib chiqiladi. Blokcheyn texnologiyasining salohiyatini baholash uchun mavjud adabiyotlar, amaliy misollar va nazariy asoslar tahlil qilingan. Asosiy natijalar shuni ko'rsatadiki, blokcheyn oziq-ovqat xavfsizligi muvofiqligini baholashda shaffoflik, ma'lumotlar yaxlitligi, kuzatuvchanlik va samaradorlikni sezilarli darajada oshiradi. Maqola blokcheynning oziq-ovqat mahsulotlari xavfsizligi muvofiqligini ta'minlashdagi transformatsion rolini tizimli tahlil qilish orqali amaliy joriy etish va kelajakdagi tadqiqotlar uchun muhim xulosalar taqdim etadi.

Kalit so'zlar: *blokcheyn, oziq-ovqat xavfsizligi, muvofiqlikni baholash, kuzatuvchanlik, smart-kontraktlar, HACCP, ISO 22000.*

KIRISH

Zamonaviy global oziq-ovqat ta'minot zanjiri tobora ortib borayotgan murakkablik bilan tavsiflanadi, bu esa firibgarlik, kontaminatsiya xavflarining oshishiga va oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlashda qiyinchiliklarga olib keladi. An'anaviy tizimlar ko'pincha shaffoflikning yo'qligi, ma'lumotlarning tarqoqligi va xavfsizlik bilan bog'liq hodisalarga sekin javob berish muammolariga duch keladi. Oziq-ovqat mahsulotlarining global savdosi bu muammolarni yanada kuchaytirib, ham ta'minot zanjiri ishtirokchilari, ham yakuniy iste'molchilar o'rtasidagi ishonchni pasaytiradi. Mavjud qog'oz yoki tarqoq elektron hisobga olish tizimlari kerakli shaffoflikni ta'minlamaydi, xatolarga moyil va yuzaga keladigan tahdidlarga tezkor javob berishga imkon bermaydi.

An'anaviy oziq-ovqat xavfsizligi tizimlariga xos bo'lgan bu zaifliklar, ma'lumotlarning tarqoqligi va jarayonlarning shaffof emasligida namoyon bo'lib, bevosita samarasizlikka va muvofiqlikni baholash tartib-qoidalariga ishonchning yo'qligiga olib keladi. Bu holat nafaqat iqtisodiy zararlar, balki eng muhimi, aholi salomatligiga jiddiy xavf tug'diradi. Oziq-ovqat tizimiga iste'molchilar ishonchini tiklash va saqlab qolish ijtimoiy-iqtisodiy zaruratga aylangan. Aynan shu nuqtada, blokcheyn texnologiyasi markazlashtirilmagan, o'zgarmas va shaffof reestrni taklif etib, ta'minot zanjirlarida ma'lumotlarni boshqarish, kuzatuvchanlik va ishonchni ta'minlashdagi asosiy muammolarni hal qilish salohiyatiga ega innovatsion yechim sifatida paydo bo'lmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining mamlakatimiz iqtisodiyotining asosiy tarmoqlarini modernizatsiya qilish, aholi farovonligini yuksaltirish va O'zbekistonning jahon bozorlaridagi mavqeini mustahkamlashga qaratilgan strategik tashabbuslari doirasida innovatsion texnologiyalarni, shu jumladan oziq-ovqat xavfsizligi va sifatini ta'minlash sohasiga joriy etishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu, o'z navbatida,

blokcheyn kabi ilg'or yechimlarning ilmiy va amaliy jihatlarini chuqur o'rganishni taqozo etadi. Blokcheyn texnologiyasining ishonchli va oson tekshiriladigan ma'lumotlarni taqdim etish imkoniyati tartibga soluvchi organlarning o'z talablari va audit jarayonlarini moslashtirishiga, natijada yanada dinamik va ma'lumotlarga asoslangan nazorat tizimiga o'tishiga zamin yaratishi mumkin. Bu esa, o'z navbatida, nazorat faoliyatini reaktiv (hodisadan keyingi tekshiruv) yondashuvdan ko'ra proaktiv va ma'lumotlarga asoslangan monitoringga yo'naltirish imkonini beradi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi – manfaaddor tomonlarning ishonchliligi, samaradorligi va ishonchini oshirish maqsadida oziq-ovqat xavfsizligi tizimlarining muvofiqlikni baholash jarayonini tubdan o'zgartirish uchun blokcheyn texnologiyasidan foydalanishning ilmiy va amaliy istiqbollarini har tomonlama tahlil qilishdir. Maqolaning vazifalari quyidagilardan iborat: mavjud oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish tizimlari va muvofiqlikni baholash mexanizmlarini ko'rib chiqish; oziq-ovqat xavfsizligi uchun muhim bo'lgan blokcheyn asoslarini tushuntirish; blokcheynning muvofiqlikni baholashdagi afzalliklari va imkoniyatlarini aniqlash; amaliy qo'llanilish holatlari va ilmiy tadqiqotlarni o'rganish; hamda mavjud to'siqlar va kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlari bo'yicha xulosa va takliflar ishlab chiqish.

MAVZUGA OID ADABIYOTLARNING TAHLILI

Mavjud oziq-ovqat xavfsizligini boshqarish tizimlarini (OXBТ) va muvofiqlikni baholash tamoyillarini tushunish, blokcheyn texnologiyasi eng katta foyda keltirishi mumkin bo'lgan sohalarni aniqlash uchun kalit hisoblanadi. Blokcheyn bu tizimlarni almashtirmaydi, aksincha ularning amalga oshirilishini, tekshirilishini va ularning standartlariga muvofiqligini baholashni kuchaytiradi.

Asosiy OXBТlardan biri "Xavflarni tahlil qilish va tanqidiy nazorat nuqtalari" (HACCP) tizimidir. Ushbu tizim yetti tamoyilga asoslanadi: xavflarni tahlil qilish, tanqidiy nazorat nuqtalarini (TNN) aniqlash, har bir TNN uchun tanqidiy chegaralarni belgilash, TNN monitoringi, tuzatuvchi harakatlarni ishlab chiqish, tekshirish tartib-qoidalarini va hujjatlarni yuritish. HACCPdan tashqari, ISO 22000 (HACCP tamoyillarini sifat menejmenti bilan birlashtiradi), FSSC 22000, BRC Global Standard va SQF (Safe Quality Food) kabi boshqa xalqaro miqyosda tan olingan OXBТlar ham mavjud. Ushbu tizimlarning barchasining ajralmas qismi oziq-ovqat xavfsizligining barcha jihatlarini bo'yicha hujjatlarni qat'iy yuritishdir va aynan shu soha blokcheynni joriy etish uchun asosiy yo'nalishlardan biridir. HACCP kabi joriy OXBТlarning samaradorligi ko'p jihatdan yozuvlarning yaxlitligi va mavjudligiga bog'liq. An'anaviy yozuvlarni yuritish usullari ko'pincha qo'lda bajariladigan va xatolarga yoki soxtalashtirishga moyil bo'lgan asosiy zaif nuqta hisoblanadi. Hujjatlarni yuritishdagi bu zaiflik HACCPning "Tekshirish" tamoyilini va muvofiqlikni baholashning umumiy ishonchliligini bevosita buzadi. Blokcheyn o'zgaras va shaffof yozuvlarni ta'minlab, aynan shu eng zaif bo'g'inni mustahkamlaydi. Bu shuni anglatadiki, blokcheyn mavjud oziq-ovqat xavfsizligi boshqaruv tizimlarining (masalan, HACCP) eng muhim zaif nuqtasi bo'lgan hujjatlashtirish va tekshirish jarayonlarining ishonchliligini oshirish orqali ularni simbiotik tarzda kuchaytiradi.

Muvofiqlikni baholash – bu mahsulot, tizim, xizmat yoki xodimning standart yoki spetsifikatsiyada ko'rsatilgan talablarga mos kelishini aniqlaydigan faoliyatdir va odatda sinovlar va tekshiruvlar orqali amalga oshiriladi. Bu bozorga chiqish, xaridorlarning ishonchini ta'minlash va me'yoriy talablarga rioya qilish uchun zarurdir. Ushbu jarayonda akkreditatsiya organlari, sinov laboratoriyalari va standartlashtirish tashkilotlari kabi turli tuzilmalar ishtirok etadi. Muvofiqlikni baholashning joriy tuzilmasi ko'plab tomonlarni o'z ichiga olib, o'zaro ta'sirlar va ma'lumotlar uzatishning murakkab tarmog'ini yaratadi, bu esa samarasizlikka va ma'lumotlarning potentsial nomuvofiqligiga olib kelishi mumkin.

Blokcheyn texnologiyasining asosiy tushunchalari uning oziq-ovqat xavfsizligi muvofiqligini baholashda qo'llanilishini asoslaydi. Taqsimlangan reestr texnologiyasi barcha manfaatdor tomonlarga yagona, izchil ma'lumot manbasiga kirish imkonini beradi. Yozuvlarning o'zgarmasligi (Immutability) oziq-ovqat xavfsizligi bo'yicha yozuvlar uchun ruxsatsiz kirishdan himoyalangan audit izlarini yaratadi. Nazorat qilinadigan shaffoflik (Permissioned blockchains) auditorlar va tartibga soluvchilarga maxfiy tijorat ma'lumotlarini oshkor qilmasdan zarur muvofiqlik ma'lumotlariga kirish imkonini beradi. Smart-kontraktlar muvofiqlikni baholashning jihatlarini avtomatlashtirishi mumkin, masalan, TNN tanqidiy chegaralariga rioya etilishini avtomatik tekshirish. Kriptografiya esa yozuvlarning yaxlitligi va haqiqiylikni ta'minlaydi. Bu xususiyatlar birgalikda an'anaviy hujjatlashtirish va tekshirishdagi zaifliklarni bartaraf etadi. Smart-kontraktlar va ishonchli ma'lumot manbalari (orakullar, IoT qurilmalari) yordamida muvofiqlikni baholash diqqat markazi qo'lda yozilgan yozuvlarni tekshirishdan smart-kontraktlar mantig'ini va ma'lumotlar kiritish mexanizmlarining yaxlitligini audit qilishga o'tishi mumkin. Bu esa auditorlardan yangi ko'nikmalar, xususan, tizimlarni audit qilish va ma'lumotlarni tahlil qilish qobiliyatlarini talab qiladi.

Ko'plab ilmiy tadqiqotlar blokcheynning oziq-ovqat sanoatida kuzatuvchanlik, shaffoflik, xavfsizlik va ma'lumotlar yaxlitligini oshirish orqali inqilobiy o'zgarishlar qilish salohiyatini tasdiqlaydi. Masalan, Kamilaris va boshqalar (2019) o'zlarining tizimli sharhlarida blokcheynning qishloq xo'jaligi va oziq-ovqat ta'minot zanjirlarida qo'llanilishining ortib borayotganini ta'kidlaydilar. Xuddi shunday, Xiong va boshqalar (2020) blokcheynning qishloq xo'jaligidagi qo'llanilishi va uning asoslarini tahlil qilganlar. Kenterberi universiteti dissertatsiyasida taklif etilgan 3TIC (Traceability, Transparency, Tamper-evidence, Immutability, Compliance) kontseptsiyasi IoT va blokcheynni agrosanoat ta'minot zanjirlarida birlashtirib, ma'lumotlarning ishonchliligi va jarayonlarning muvofiqligini ta'minlash orqali muvofiqlikni baholashga bevosita ta'sir qiladi. Tadqiqotlar, shuningdek, qonunchilik bazalari va oziq-ovqat xavfsizligi qoidalarini avtomatik tekshirish uchun smart-kontraktlarga o'tkazishni o'rganmoqda. Blokcheyn audit ma'lumotlarining ishonchliligini yaxshilaydi, dalillarni yig'ishni tezlashtiradi, xarajatlarni kamaytiradi va auditni uzluksiz monitoring rejimiga o'tkazishi mumkinligi ko'rsatilgan.

TAHLIL VA NATIJALAR

Blokcheyn texnologiyasi oziq-ovqat xavfsizligi sohasida muvofiqlikni baholash jarayonlarini tubdan yaxshilashi mumkin bo'lgan ko'plab afzalliklarni taklif etadi. Uning shaffoflik, o'zgarmaslik va avtomatlashtirish imkoniyati kabi fundamental xususiyatlari bu o'zgarishlarning asosini tashkil etadi.

Audit izlarida oshirilgan shaffoflik va kuzatuvchanlik blokcheynning eng muhim yutuqlaridan biridir. Markazlashtirilmagan, umumiy reestr barcha vakolatli manfaatdor tomonlarga (ishlab chiqaruvchilar, qayta ishlovchilar, auditorlar, tartibga soluvchilar) real vaqt rejimida oziq-ovqat xavfsizligi ma'lumotlari va jarayonlarining kelishilgan va dolzarb ko'rinishiga kirish imkonini beradi. Bu oziq-ovqat ta'minot zanjirining har bir bosqichida misli ko'rilmagan ko'rinish darajasini yaratadi, bu esa mahsulotni "fermadan dasturxongacha" kuzatish uchun juda muhimdir. Auditorlar mahsulot yoki jarayonning butun tarixini osongina kuzatib, har bir bosqichda talablarga rioya etilishini tekshirishlari mumkin, bu esa nomuvofiqliklarni yashirishni qiyinlashtiradi.

Ishonchli yozuvlar uchun yaxshilangan ma'lumotlar yaxlitligi va o'zgarmasligi yana bir muhim afzallikdir. Ma'lumotlar (masalan, TNN monitoringi, sanitariya yozuvlari, sertifikatlar) blokcheynga yozilgandan so'ng, bloklarning kriptografik bog'lanishi tufayli ularni o'zgartirish yoki o'chirish mumkin emas. Bu muvofiqlikni baholash uchun taqdim etilgan yozuvlarning ruxsatsiz kirishdan himoyalanganligini va haqiqiylikni kafolatlaydi, bu esa ularning ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi.

Talablarga rioya qilish va hisobot berish jarayonlarining samaradorligi ham ortadi. Avtomatlashtirilgan yozuvlarni yuritish qo'lda ma'lumotlarni kiritishni va u bilan bog'liq xatolarni kamaytiradi. Ma'lumotlarga real vaqt rejimida kirish audit jarayonini optimallashtiradi, tezroq tekshirish imkonini beradi va an'anaviy auditlar bilan bog'liq vaqt va xarajatlarni kamaytiradi. PwC misolida blokcheyn audit siklini 3 oydan 6 haftagacha qisqartirgani va mehnat xarajatlarini 40% ga kamaytirgani ko'rsatilgan. Maxfiy muvofiqlik ma'lumotlarining kuchaytirilgan xavfsizligi kriptografik usullar va ruxsat etilgan blokcheynlar orqali ta'minlanadi.

Real vaqt rejimida monitoring va verifikatsiyaga ko'maklashish IoT qurilmalari bilan integratsiya orqali amalga oshiriladi. Datchiklardan olingan ma'lumotlar blokcheynga o'zgarmas tarzda yozilib, TNN va boshqa xavfsizlik parametrlarining uzluksiz monitoringini ta'minlaydi. Smart-kontraktlar esa muvofiqlikni tekshirish va sertifikatlashtirishni avtomatlashtirishda muhim rol o'ynaydi. Ular kiruvchi ma'lumotlarga asoslanib oldindan belgilangan qoidalarni avtomatik ravishda bajarishi, oziq-ovqat xavfsizligi standartlariga muvofiqligini tekshirishi va nomuvofiqlik to'g'risida ogohlantirishlarni ishga tushirishi mumkin. O'zgarmaslik, real vaqt rejimida IoT ma'lumotlari va smart-kontraktlar yordamida avtomatlashtirishning birlashtirilgan afzalliklari nafaqat muvofiqlikni baholashni tezlashtiradi, balki uning tabiatini fundamental tarzda o'zgartiradi. Bu "loyihalashtirilgan muvofiqlik va uzluksiz tekshirish" paradigmasiga o'tishni anglatadi, ya'ni muvofiqlik davriy tekshiruvdan ko'ra, ta'minot zanjirining uzluksiz, deyarli "o'rnatilgan" xususiyatiga aylanadi.

Amaliy joriy etishlar blokcheynning nazariyadan amaliyotga o'tganini ko'rsatadi. Walmart va IBM hamkorligida yaratilgan IBM Food Trust platformasi bunga yaqqol misoldir. Ushbu platforma orqali mangoni kuzatish vaqti 7 kundan 2.2 soniyagacha qisqargan, bu esa oziq-ovqat orqali yuqadigan kasalliklar tarqalishini boshqarishda juda muhimdir. Nestlé ham IBM Food Trust platformasidan foydalanib, iste'molchilar uchun mahsulot kelib chiqishi bo'yicha shaffoflikni oshirmoqda va barqaror manbalardan ta'minotni tekshirmoqda. Boshqa kompaniyalar, masalan, TE-Food, Tyson Foods (FoodLogiQ Connect orqali) ham oziq-ovqat xavfsizligini yaxshilash, yetkazib beruvchilarni boshqarish va kuzatuvchanlikni ta'minlash uchun blokcheyndan foydalanmoqda. Ushbu platformalarning paydo bo'lishi "xizmat sifatida muvofiqlikni baholash" yoki "xizmat sifatida kuzatuvchanlik" modellari shakllanayotganidan dalolat beradi. Bu esa, o'z navbatida, kichik va o'rta korxonalar uchun ilg'or texnologiyalardan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi, chunki ular o'zlarining shaxsiy blokcheyn tizimlarini yaratish o'rniga mavjud platformalarga obuna bo'lishlari mumkin.

Quyidagi 1-jadvalda an'anaviy va blokcheynga asoslangan muvofiqlikni baholash usullarining qiyosiy tahlili keltirilgan.

1-jadval.

An'anaviy va blokcheynga asoslangan muvofiqlikni baholash usullarining qiyosiy tahlili

Xususiyat	An'anaviy muvofiqlikni baholash usullari	Blokcheyn yordamida takomillashtirilgan muvofiqlikni baholash usullari
Ma'lumotlar yaxlitligi	Qog'ozdagi yoki tarqoq tizimlardagi yozuvlar; xatolarga, soxtalashtirishga, yo'qotishga moyil.	O'zgarmas, kriptografik himoyalangan reestr; yuqori yaxlitlik, soxtalashtirishga chidamli.
Kuzatuvchanlik tezligi va batafsilligi	Kuzatish kunlar/haftalar davom etadi; cheklangan batafsillik.	Real vaqt rejimida kuzatish (soniyalar/daqiqalar); har bir bosqichda yuqori batafsillik.
Shaffoflik va axborotga kirish imkoniyati	Axborot izolyatsiya qilingan, shaffof emas; auditorlar/tartibga soluvchilar uchun kirish cheklangan/kechiktirilgan.	Ruxsat etilgan tizimlar orqali nazorat qilinadigan shaffoflik; vakolatli tomonlar uchun real vaqt rejimida kirish.
Muvofiqlikni baholash samaradorligi va xarajati	Auditlar mehnat talab qiladigan, uzoq davom etadigan, qimmat; qo'lda tekshirish, tanlab sinash.	Optimallashtirilgan auditlar; avtomatlashtirilgan yozuvlarni yuritish, real vaqt rejimida ma'lumotlarga kirish, smart-kontraktlar.
Soxtalashtirish va firibgarlikdan xavfsizlik	Qog'oz yozuvlarini osongina soxtalashtirish	Kriptografik xavfsizlik va markazlashtirilmagan

	mumkin; markazlashtirilgan tizimlar buzilishga moyil.	konsensus ma'lumotlarni soxtalashtirishga yuqori darajada chidamli qiladi.
O'zaro ishlash qobiliyati	Ko'pincha turli tizimlar va tashkilotlar o'rtasida past; ma'lumotlarning tarqoqligi.	Bir xilroq tizimlar va standartlashtirish harakatlari tufayli potentsial yuqoriroq; ammo muammo bo'lib qolmoqda.
Yozuvlarning o'zgarmasligi	Yozuvlar tegishli kuzatuvsiz o'zgartirilishi yoki o'chirilishi mumkin.	Yozuvlar kriptografik tarzda muhrlangan va retrospektiv tarzda o'zgartirilishi mumkin emas.
Normativ hisobot berishning soddaligi	Qo'lda hisobotlarni tuzish, xatolarga va kechikishlarga moyil.	Tasdiqlangan ma'lumotlarga asoslangan hisobotlarni avtomatik shakllantirish imkoniyati.
Avtomatlashtirilgan muvofiqlikni qo'llab-quvvatlash	Cheklangan; asosan qo'lda tekshirishlar.	Smart-kontraktlar qoidalarga rioya etilishini avtomatik tekshirishi va harakatlarni ishga tushirishi mumkin.

2-jadvalda esa oziq-ovqat sanoatida blokcheynning ayrim asosiy amaliy joriy etishlari va ularning muvofiqlikni baholash uchun erishgan natijalari ko'rsatilgan.

2-jadval.

Oziq-ovqat sanoatida blokcheynning asosiy amaliy joriy etishlari va muvofiqlik uchun natijalari

Kompaniya/ Loyiha	Asosiy oziq-ovqat sektori/ Mahsulot	Foydalanilgan blokcheyn platformasi	Muvofiqlik/ xavfsizlik uchun asosiy maqsadlar	Asosiy yutuqlar
Walmart/IBM Food Trust	Bargli ko'katlar/ Cho'chqa go'shti	Hyperledger Fabric	Kasalliklar tarqalishini tez kuzatish, haqiqiylikni tekshirish.	Mango uchun kuzatuv vaqti 7 kunddan 2.2 soniyagacha qisqardi; cho'chqa go'shti uchun sertifikatlar.
Nestlé (IBM Food Trust bilan)	Qahva/ Kakao, Pyure	Hyperledger Fabric (IBM Food Trust orqali)	Iste'molchilar uchun kelib chiqish shaffofligi, barqaror	Iste'molchilar kelib chiqishini kuzatishi mumkin (fermer, qahva uchun hosil).

			manbalarni tekshirish.	
De Beers (Tracr)	Olmoslar (oziq-ovqatga o'xshash)	(Xususiy)	Mojaroli olmoslar bilan kurashish, axloqiy kelib chiqish, haqiqiylik.	Shaffoflikni oshirish va iste'molchilar ishonchini mustahkamlash.
Fairfood (Organik mahsulotlar)	Organik muskat yong'og'i	Ommaviy blokcheyn (ochiq kodli)	Organik sertifikatlashtirish ni kuzatish, adolatli savdo.	Butun zanjir bo'ylab kuzatuvchanlikni yaxshilash, fermerlarga to'lovlarni tasdiqlash.
Tyson Foods (FoodLogiQ bilan)	Go'sht mahsulotlari	FoodLogiQ Connect	Yetkazib beruvchilarni boshqarish, mahsulotlarni baholash, qaytarib olishlarni avtomatlashtirish.	Yetkazib beruvchilarni boshqarish samaradorligini oshirish, ROI potentsiali.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Blokcheyn texnologiyasi oziq-ovqat xavfsizligi muvofiqligini baholash sohasida yangi paradigma yaratib, an'anaviy usullarga nisbatan shaffoflik, ma'lumotlar yaxlitligi, samaradorlik va avtomatlashtirish borasida sezilarli ustunliklarni taqdim etadi. Uning o'zgarimaslik, taqsimlangan reestr va smart-kontraktlar kabi asosiy xususiyatlari joriy muvofiqlikni baholash tizimlarining zaif tomonlarini bartaraf etishga qodir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.

2. Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., & Huang, J. (2020). Blockchain technology for agriculture: Applications and rationale. *Frontiers in Blockchain*, 3, 7.

3. IBM. (n.d.). *What Is Blockchain?* Retrieved June 4, 2025, from <https://www.ibm.com/think/topics/blockchain>

4. Eat Fresh Tech. (n.d.). *HACCP & Food Safety Management Systems: Complete Guide*. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.eatfresh.tech/blog/haccp-and-food-safety-management-systems-complete-guide/>

5. Built In. (n.d.). *Blockchain for Food: 10 Examples to Know*. Retrieved June 4, 2025, from <https://builtin.com/blockchain/food-safety-supply-chain>

6. Cointelegraph. (n.d.). *Blockchain can end the food fraud crisis, but it's a costly battle*. Retrieved June 4, 2025, from <https://cointelegraph.com/news/blockchain-end->

food-fraud-crisis-costly-battle

7. MDPI. (2024). *Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for...* Retrieved June 4, 2025, from <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/19/8944>

8. Jahanbin, P. (n.d.). *An Investigation of Blockchain and IoT Integration for Designing...* Retrieved June 4, 2025, from https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/104597/1/Jahanbin%2C%20Pouyan_Final%20PhD%20Thesis.pdf

9. Frontiers. (2025). *Auditing in the blockchain: a literature review*. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.frontiersin.org/journals/blockchain/articles/10.3389/fbloc.2025.1549729/full>

10. SCNSoft. (n.d.). *Blockchain for the Food Supply Chain: All You Need to Know*. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.scnsoft.com/blockchain/food-supply-chain>

11. ResearchGate. (2024). *Blockchain Based Traceability System for Food Safety*. Retrieved June 4, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/381214586_Blockchain_Based_Traceability_System_For_Food_Safety

12. Frontiers. (2020). *Blockchain for Organic Food Traceability: Case Studies...* Retrieved June 4, 2025, from <https://www.frontiersin.org/journals/blockchain/articles/10.3389/fbloc.2020.567175/full>

13. Oracle. (n.d.). *Blockchain for Supply Chain: Uses and Benefits*. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.oracle.com/blockchain/what-is-blockchain/blockchain-for-supply-chain/>

14. International Electrotechnical Commission (IEC). (n.d.). *What is conformity assessment*. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.iec.ch/conformity-assessment/what-conformity-assessment>

15. PubMed Central (PMC). (n.d.). *Food Safety Distribution Systems Using Private Blockchain: Ensuring Traceability and Data Integrity Verification*. Retrieved June 4, 2025, from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12027158/>