

Újonnan felmerülő kockázatok és adatvezérelt rendszerek az élelmiszerláncban

Farkas Zsuzsa^{1*}, Józwiak Ákos^{2,3}

¹Állatorvostudományi Egyetem, Élelmiszerlánc-tudományi Intézet, Digitális Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest, Magyarország

²Állatorvostudományi Egyetem, Élelmiszerlánc-tudományi Intézet, Budapest, Magyarország

³Syreon Kutatóintézet, Budapest, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: farkas.zsuzsa@univet.hu

Beérkezett: 2025. április 30.; elfogadva: 2025. június 11.

Összefoglalás

A globális hajtóerők (klímaváltozás, demográfiai folyamatok, technológiai innováció és geopolitikai instabilitás) elősegítik az új élelmiszerlánc-biztonsági kockázatok megjelenését. A hatalmas mennyiségű adatot/információt lehetetlen manuálisan feldolgozni, az adatalapú előfeldolgozás elengedhetetlen. Az Állatorvostudományi Egyetem Élelmiszerlánc-tudományi Intézetében kidolgozásra került egy az élelmiszerlánc-biztonsági kockázatok korai azonosítását lehetővé tevő, adatvezérelt és szakértői validálással támogatott keretrendszer. Az adattudomány és a multidiszciplináris szakértelem szinergiája nélkülözhetetlen a proaktív kockázatkezeléshez; ez megalapozza a hatósági döntéseket, a kutatási prioritásokat és az ipari önellenőrzési rendszerek adaptálását a turbulens globális környezetben.

Kulcsszavak: élelmiszerlánc, újonnan felmerülő kockázatok, mesterséges intelligencia, adattudomány, adatvezérelt kockázatkezelés

Emerging risks and data-driven systems in the food chain

Zsuzsa Farkas¹, Ákos Józwiak^{2,3}

¹University of Veterinary Medicine, Institute of Food Chain Science, Department of Digital Food Science, Budapest, Hungary

²University of Veterinary Medicine, Institute of Food Chain Science, Budapest, Hungary

³Syreon Research Institute, Budapest, Hungary

Summary

Global drivers like climate change, demographic shifts, technological innovations, and geopolitical instability are accelerating emerging food chain risks. In summary, these forces are reshaping risk landscapes, such as through rising temperatures altering pathogen distributions and urbanization extending vulnerable supply chains. Drawing on vast datasets that are impossible to process manually, therefore advanced data analytics must be combined with multidisciplinary expertise to support regulatory decisions, research priorities, and industry self-monitoring in a turbulent environment. A data-driven framework for adequately addressing and handling the effects of these drivers operates through a three-tiered horizon scanning approach: (1) short-term early warning (days to weeks) for real-time incident detection via automated tools; (2) medium-term emerging risks (months to years) for systematic identification and ranking; and (3) long-term foresight (5–30 years) for scenario-based analysis of systemic drivers.

The University of Veterinary Medicine's Institute of Food Chain Science has developed a robust framework for early risk identification, merging data analytics – such as rapid alert trend analysis for temporal clustering of RASFF notifications, text and media mining for co-occurrence networks and sentiment analysis, patent network analysis using structural holes and Bray–Curtis dissimilarity, and weak-signal mining to detect growing terms – with multidisciplinary expert knowledge to validate and prioritize threats.

Based on the framework's analysis of risks from 2020–2024, emerging threats are categorized into ten classes: 1. Microbial safety in fresh, ready-to-eat vegetables and mushrooms; 2. Toxins and antimicrobial resistance (AMR) in pet animal feeds; 3. Accumulation of micro- and nanomaterials and chemically bound contaminants; 4. New transmission routes for AMR; 5. Novel chemical contaminants (e.g., FCM migrants, PFAS compounds); 6. Risks linked to sustainability trends, such as alternative proteins and food waste recycling; 7. Hazards from genetic and nanotechnology innovations; 8. Climate change-induced changes in mycotoxin patterns; 9. Emerging or newly invasive zoonotic pathogens; and 10. Household risks from consumer trends (e.g., home fermentation).

By fostering an adaptive, feedback-driven system, this framework enhances regulatory decision-making, research priorities, and industry resilience, addressing global public health challenges like the 600 million annual foodborne illnesses reported by WHO and promoting sustainable food security amid rapid changes.

Keywords: food chain, emerging risks, artificial intelligence, data science, data-driven risk management

Bevezetés

Az élelmiszer-biztonság világszerte alapvető közegészségügyi és gazdasági kérdés. A WHO adatai szerint évente mintegy 600 millió megbetegedés és 420 ezer halálos eset vezethető vissza élelmiszer-eredetű kórokozókra (WHO 2015). A globális élelmiszerlánc gyorsuló átalakulása – a klímaváltozástól a technológiai innovációkig – dinamikusan változó kockázati környezetet teremt, amelyben a hagyományos, reaktív felügyeleti módszerek már nem elegendők. Ezért kiemelten fontos az újonnan felmerülő kockázatok korai, proaktív azonosítása, hogy a hatóságok és a piaci szereplők megelőző intézkedéseket hozhassanak a megfelelő időben (FAO 2022a).

A globális élelmiszer-ellátási lánc egyre inkább olyan erőket kereszttüzében működik, amelyek nemcsak gyorsítják az újonnan felmerülő kockázatok megjelenését, hanem radikálisan átalakítják a kockázati térképet is. Először is, a klímaváltozás már mérhetően átrajzolta a mikrobiológiai és kémiai veszélyek földrajzi eloszlását: 2024-ben – a műholdas mérések kezdete óta először – az éves középhőmérséklet tartósan 1,5 °C-kal haladta meg az ipari forradalom előtti átlagot, a Kárpát-medencében pedig 1990-hez képest 40 százalékkal nőtt a 30 °C-ot meghaladó nyári napok száma. A felmelegedés kedvez a mikotoxin-termelő *Aspergillus* fajok és más hőigényes fitopatogének északra tolódásának, miközben a trópusi vektorok – például a *Aedes* szúnyogok – stabil populációt alakítanak ki a Balkánon és a Délnyugat-Alföldön. Ez nemcsak a primer termelés (gomba)toxin-terhelését növeli, hanem új takarmány- és élelmiszer-biztonsági kockázatot is jelent, amelyet a jelenlegi monitoringrendszer még nem kezelnek kellő érzékenységgel (FAO 2015; FAO 2017).

A demográfiai robbanás és az urbanizáció párhuzamosan hajtja a fogyasztási mintázatok és a logisztikai kitettség változását. A Világbank előrejelzése szerint 2050-re a Föld 9,8 milliárd lakosának mintegy 70 százaléka városi térségekben él majd; ez a koncentráció több ezer kilométerrel hosszabbítja meg az átlagos ellátási útvonalakat, növelve a hűtőlánc-megszakadások, a keresztkontamináció és a hamisított termékek kockázatát. A nagyvárosi fogyasztó ráadásul élmény- és egészségtudatos, ami gyors piaci bevezetésekre ösztönzi az élelmiszeripart,

gyakran még a kockázatjelző adatok konszolidálódása előtt (FAO 2018; FAO et al. 2023).

Ezzel összefüggésben a technológiai innováció – az alternatív fehérjék, a precíziós fermentáció vagy épp a CRISPR-alapú fajnemesítés – egyszerre ígér fenntarthatóbb termelést, és hordoz új kockázatokat. Az új mátrixok, például a sejtalapú hús vagy a micélium-fehérje, ismeretlen allergénprofilokat és migrációs viselkedést mutathatnak; a szintetikus biológia pedig horizontálisan terjedő genetikai elemek révén hozhat létre rezisztens mikroorganizmusokat a környezetben. A „zöld” csomagolóanyagok lebomlási melléktermékei szintén új toxikológiai kérdéseket vetnek fel (FAO 2022b; FAO et al. 2023; WHO 2023; FAO 2024).

Végül a geopolitikai instabilitás – a pandémiák, regionális konfliktusok és kereskedelmi szankciók rendszeres hullámai – láncszerű stresszt idéz elő az ellátásban: átmeneti nyersanyaghiány, energiaár-robbanás és logisztikai szűk keresztmetszetek lépnek fel. A gyakori útvonal- és forrásváltások megnövelik a beszállítói heterogenitást, és aláássák a beszállítói auditok hosszú távú hatékonyságát, miközben a gazdasági nyomás fokozza a termékhamisítás, az adalékanyag-túladozás és egyéb csalások kockázatát. A biztonsági protokollok folyamatos felülvizsgálata nélkül a rendszerek gyorsan sérülékennyé válnak (FAO et al. 2023).

Összességében ez a négy, egymást erősítő hajtóerő olyan turbulens környezetet teremt, amelyben a feltörekvő kockázatok nem elszigetelt jelenségek, hanem komplex, többtényezős folyamatok. A klíma, a városi demográfia, a technológiai ugrások és a geopolitikai feszültségek összeható hatása miatt a kockázatazonosításnak adaptív, adatvezérelt és előrelátó keretrendszerre van szüksége – különben a felderítés és a beavatkozás üteme végzetesen lemarad a gyorsuló változások mögött. A proaktív kockázatazonosítás azonban hozzájárul a döntéshozatal gyorsaságához, a szabályozás megalapozottságához és az élelmiszerrendszer rezilienciájához is (FAO 2021).

A horizontvizsgálat három időszávja

A horizontvizsgálat (*horizon scanning*) – gyakran „horizontszkennelésnek” vagy proaktív környezetfigyelésnek is nevezik – az a rendszerezett, iteratív folyamat, amely-

nek célja, hogy a változó élelmiszerláncban ne utólag, bekövetkezésük után, hanem már a korai jelek szintjén észleljük a potenciális veszélyeket. A módszer hatékonysága érdekében célszerű három, egymást kiegészítő idő-síkra bontani az adatgyűjtési és elemzési tevékenységet; ezek idődimenzió, célszerűség és beavatkozási lehetőség tekintetében is jelentősen eltérnek, ugyanakkor dinamikusan összekapcsolódnak (FAO 2014).

1. Korai/gyors riasztás (early warning): napok–hetek

Rövid távon a hangsúly a konkrét incidensek valós idejű detektálásán és az azonnali kockázatsökkentő lépések előkészítésén van. Ebben a fázisban a legfontosabb adatforrások a gyorsriasztási hálózatok (Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF; International Food Safety Authorities Network, INFOSAN), a nemzeti laboratóriumok vizsgálati eredményei, valamint a közösségi média rövid távú zajsztíjén megjelenő anomáliák. A feldolgozás nagy része automatizált szöveg- és adatbányászati algoritmusokra épül: idősoros anomáliadetektálás, kulcsszavak említési gyakorisága, illetve földrajzi eloszlási (hot-spot) modellek használatosak. A tipikus kimenet egy hatósági értesítés, piaci termékviisszahívás vagy ideiglenes importstop. Bár időhorizontja rövid, az itt gyűjtött adatok hosszabb távon is értékesek, mert visszaigazolják vagy cáfolják a közép- és hosszú távú előrejelzések feltevéseit. A szisztematikusan gyűjtött eredmények trendjeinek változása pedig közép- vagy hosszú távú kockázatok megjelenésére hívja fel a figyelmet (Palmas et al. 2022).

2. Újonnan felmerülő kockázatok (emerging risks): hónapok–évek

A középtávú réteg hivatott „kitölteni a hézagot” a gyors riasztás és a stratégiai foresight között. Itt már nem az incidensekre történő azonnali, gyors reagálás a cél, hanem a jövőben potenciálisan súlyosbodó veszélyek azonosítása és rangsorolása. A folyamat kulcsa a szisztematikus információszűrés és -validálás: a szakirodalmi adatbázisokban elérhető tudományos közlemények, a szabadalmi adatbázisok, szakmai-ipari hírfolyamok elemzése, valamint a szakértői tudás strukturált bevonása. Az EFSA definícióját követve újonnan felmerülő kockázatnak tekintünk minden olyan – új vagy ismert, de váratlanul megnövekvő expozícióval járó – veszélyt, amelynél jelentős egészségügyi kockázat várható (EFSA 2007; EFSA et al. 2020). A folyamat lépései: (1) gyenge jel azonosítása, (2) evidenciagyarapítás, (3) rangsorolás különböző kritériumok mentén (evidenciaszint, súlyosság, időtáv, kezelhetőség stb.), (4) döntés a kockázat sorsáról (prioritás, további monitorozás vagy elvetés). Eredményként évente néhány tucat kockázati „tétel”

születik, amely beépül a hatósági mintavételi, ellenőrzési, kockázatértékelési vagy -kezelési tervekbe, illetve kutatási prioritássá válik.

3. Előretekintő jövőképek (foresight): öt–harminc év

A hosszú távú dimenzió a rendszerszintű hajtóerők (demográfia, klíma, technológia, geopolitika) szcenárióalapú elemzésére koncentrál. Az alkalmazott eszköztár a stratégiai foresight klasszikus és modern módszereiből építkezik: STEEP- vagy PESTEL-alapú driver-térképezés, back-casting, Delphi-panelekkel támogatott forgatókönyv-építés (FAO 2014). A cél nem a pontos előrejelzés, sokkal inkább a lehetséges jövőképek és a bennük rejlő kockázati-lehetőségi mezők feltárása. Például egy 2040-re szóló forgatókönyv-csomag felvázolhatja, hogyan alakul a mikotoxin-mintázat Közép-Európában 2 °C-os átlaghőmérséklet-emelkedés esetén, vagy milyen szabályozási reakciókat igényelhet az alternatív fehérjék tömeges megjelenése. Az így nyert stratégiai iránytűt keletet ad a középtávú horizontvizsgálati prioritások, illetve a rövid távon tesztelendő indikátorok kiválasztásához.

Az idősíkok összefonódása és visszacsatolása

A három szint nem egy-egy elszigetelt „csatorna”, hanem egy visszacsatolós ökoszisztéma. A rövid távú incidensek statisztikai mintázatai – például a RASFF-riasztások szezonális csúcsai – inputot szolgáltatnak a középtávú scoring-modellekhez. Ezek azután rámutatnak, mely trendek igényelnek mélyebb stratégiai vizsgálatot. A foresight forgatókönyvekben felvázolt távoli pályák pedig segítenek azonosítani azokat az indikátorhalmazokat, amelyeket a gyorsriasztási rendszerekben célszerű folyamatosan figyelni. Így zárul a kör: a naprakész adatgazdaságot egy többszintű, adaptív tudásmenedzsment teszi képessé arra, hogy az ismeretlenekből időben kezelhető feladat legyen, ne pedig váratlan válság.

A szövegbányászat-alapú kockázatazonosítás lehetőségei és kihívásai

A napi szinten generálódó hatalmas mennyiségű információ és adat feldolgozása csupán emberi-szakértői erővel nem lehetséges. Az információ szűrése azonban egyáltalán nem triviális feladat, hiszen valahogyan el kell tudni dönteni, hogy melyik kockázat „új” és szignifikáns, vagyis melyikkel kell foglalkoznunk. Didaktikai szempontból két megközelítés alkalmazható: a kulcsszó-alapú és a mintázatalapú szűrés.

A kulcsszóalapú (keyword-based) szűrés első látásra vonzó megoldás, mert könnyen paraméterezhető, átlátható és viszonylag kevés erőforrással üzemeltethető. Az élelmiszerlánc sokdimenziós adatvilága azonban nehézségeket rejt: az újonnan felmerülő kockázatokat tartal-

mazó információforrások a legritkább esetben tartalmazzák az újdonságra vonatkozó kulcsszavakat (pl. új, emergens), ráadásul ugyanazok a kifejezések más-más tudományterületeken vagy kontextusban eltérő jelentéssel bírnak. Az említettek miatt magas a fals pozitív arány, miközben a „néma” vagy eddig ismeretlen kockázatok rejtve maradhatnak. A módszer tartóssága az úgynevezett robusztus ontológiáktól függ – vagyis attól a hierarchikus fogalomrendszertől, amely minden releváns fogalmat szabatosan, a számítógépek és a mesterséges intelligencia (MI) számára értelmezhető módon definiál. Egy efféle ontológia kidolgozása és folyamatos karbantartása komoly interdiszciplináris szakértői kapacitást igényel, a gépi tanulási modell(ek) tréningjét is beleértve. Ráadásul a fogalomeltolódás (*concept drift*) miatt a kulcsszólisták hónapok alatt elavulhatnak, ha nem frissítjük őket a tudomány és az élelmiszerrendszerek változásaiával szinkronban.

Ezzel szemben a mintázatalapú (*pattern-based*) azonosítás azt vizsgálja, hogyan változik a struktúra az adatokban: új klaszterek jelennek-e meg egy szabadalmi idézhálózatban, hirtelen ugrik-e egy téma említésszáma a médiában, netán anomália bukkan-e fel egy idősores elemzés során. Ez a megközelítés a rejtett, ismeretlen veszélyekkel is megbirkózik, mert nem előre definiált fogalmakat, hanem dinamikus összefüggéseket figyel. A gyakorlatban olyan módszerekre támaszkodik, mint a strukturális elemzés a szabadalmi gráfokban, az együtt-idézetségi hálózatok evolúciója vagy a mediatickek témamodelljei, amelyeket gyengejel-bányászattal (*weak signal mining*) kombinálnak. A nagy feldolgozási igény miatt általában skálázható adatbázisok, felhőalapú szolgáltatások és célalgoritmusok szükségesek, és még így is nélkülözhetetlen a doménszakértők validálása, mert az algoritmusok hajlamosak túlérzékenyen reagálni a zajra vagy a torz forrásokra.

Az adatközpontú hibrid megoldások igyekeznek ötvözni mindkét világ előnyeit. Egy tipikus workflow-ban először egy szűrt kulcsszó-ontológia csatlakozik a többnyelvű információforrásra, hogy a nyers adatfolyamból eltávolítsa a nyilvánvalóan irreleváns tételeket. A redukált korpuszt ezután mintázatazonosító algoritmusok elemzik, és csak azokat a témákat emeli ki, amelyek időbeli változást mutatnak. Végül szakértői panel értékeli a „jelzaj” arányt, és dönti el, szükséges-e további kockázatbecslés vagy szabályozási lépés. A kulcsszórétteg így átláthatóságot és visszakereshetőséget biztosít, míg a mintázatrétteg érzékenységet és előrelátást – együtt pedig csökkentik mind a vakfoltot, mind a téves riasztást.

Összefoglalva: a kulcsszóalapú megközelítés gyors, de tudásintenzív és merev; a mintázatalapú rugalmasabb és proaktív, de adat- és számításigényes. A jövő élelmiszerbiztonsági rendszerei ezek szinergiájára épülnek, ahol a mesterséges intelligencia automatizálja a háttérben futó elemzéseket, az emberi szakértelem pedig a döntések felelősségét és a társadalmi elfogadottságot garantálja (Józwiak 2024).

A mesterséges intelligencia hozzájárulása

A mesterséges intelligencia (MI) nagyon magas hatékonysággal képes nagy mennyiségű, heterogén adat – laboreredmények, gyorsriasztási bejelentések, szabadalmi metaadatok, közösségimédia-posztok, szenzoridősorok – előszűrésére és a rejtett mintázatok feltárására. A gyakorlati alkalmazások négy egymásra épülő rétegben jelenhetnek meg az újonnan felmerülő kockázatok azonosítása során.

1. *Adatgyűjtés és forrásmenedzsment.* Egyes modern eszközök, úgymint a webscraping és az API-integrációk lehetővé teszik, hogy a RASFF-adatbázistól a szakirodalmi adatbázisokon át a nyomon követési rendszerekig minden releváns csatorna valós időben elérhető legyen. A különböző nyelvi modellek képesek automatikusan felismerni, ha új kulcskifejezés bukkan fel, és dinamikusan bővíthetik a lekérdezéseket, csökkentve az ontológiai karbantartás emberi terhet.

2. *Előfeldolgozás és minőségbiztosítás.* A nyers szöveg-, kép- és szenzoradatok zajsűrése hagyományosan manuális feladat volt. Ma a különböző MI-modellcsaládok kiszűrlik a duplikációkat, felismerik a nem releváns bejegyzéseket, és már a korpuszépítés fázisában osztályozzák a dokumentumokat különböző paraméterek szerint. A szabályalapú adatminőség-ellenőrzési megoldásokat fokozatosan felváltja az adatközpontú MI-szemlélet: a modell maga jelzi az adatminőség-problémákat, és javaslatot tesz a hiányzó metaadatok pótlására.

3. *Analitika és mintázatfelismerés.* Különböző neurális háló-alapú architektúrák rangsorolják a szabadalmi és tudományos hálózatok csomópontjait, így korán azonosíthatók a „híd-szereplők”, amelyek például új technológiák gyors azonosítását teszik lehetővé. A kis és nagy nyelvi modellek a tudományos és médiakorpuszon követik a különböző témákat, és elemzik ezek erősségét és relevanciáját.

4. *Kimenet, interpretáció és döntéstámogatás.* A modern adatbázisokra és dashboardokra épülő algoritmusok *retrieval-augmented generation* (RAG) technikát alkalmaznak: a rendszer a felhasználói kérdéshez valós időben releváns dokumentumrészleteket keres vissza egy előzetesen felépített, magas evidenciaszintű tudásbázisból, ezeket a nyelvi modell bemenetéhez fűzi, és így forrásokra támaszkodó, tartalmilag ellenőrizhető választ generál. Ezzel biztosítja az átláthatóságot és a magas tudományos relevanciát. A RAG-megoldásokon túl más MI-módszerek is segítik a döntéshozatalt, például a felhasználók (hatósági elemzők, vállalati minőségbiztosítási menedzserek) visszajelzése *reinforcement learning from human feedback* formájában finomhangolja a prioritási pontszámokat, így a rendszer adaptívan tanul, miközben nyomon követhető marad.

Az MI ereje ellenére a humán szakértelem továbbra is kritikus. A modellfelügyelethez (drift-detektálás, bias-audit), az EU AI Act és GDPR szerinti jogi-etikai megfeleléshez, valamint a narratív kontextus megalkotásához

elengedhetetlen a domaintudás. A kockázati narratíva kialakítása – hogy egy gyenge jel valóban fenyegetést, esetleg csupán piaci „hype-ot” jelez-e – csak interdiszciplináris, „human-in-the-loop” megközelítéssel ítéltethető meg.

Összességében az MI nem helyettesíti, hanem multiplikálja a szakemberek kapacitását: gyorsabb adatfeldolgozással, mélyebb mintázattal és interaktív döntéstámogatással teremti meg azt a munkafolyamatot, amelyre a gyorsan változó globális élelmiszerláncban valódi proaktív kockázatkezelés épülhet (EFSA *et al.* 2024; EFSA *et al.* 2025).

A magyarországi folyamat – Állatorvostudományi Egyetem (ÁTE)

Az ÁTE Élelmiszerlánc-tudományi Intézetében működő rendszer többlépcsős szűrésen és döntéshozatalon alapul, és elsősorban médiamonitring, tudományos publikációk screenelése és szabadalmi hálózatelemzés integrálásával évente több ezer jelet dolgoz fel (Farkas *et al.* 2023). Bár 2020 és 2024 között a nyers jelek mintegy 0,17 százaléka jutott az elemzés és az értékelés fázisába, mégis >280 újonnan felmerülő kérdést azonosítottunk tíz tematikus területen, amelyeket releváns hatóságok (NÉBIH, EFSA, kutatási partnerek, ipari partnerek, citizen-science közösség) felé kommunikáltunk.

Ez a rendszer szintén adatvezérelt hibrid megoldáson alapul, kiegészülve egy erős interdiszciplináris szakértői elemzői háttérrel. A legfontosabb használt adatcentrikus eszközök a következők:

- Gyorsriasztási trendanalízis – időbeli klaszterezés a növekvő frekvenciájú RASFF-bejelentések azonosítására.
- Szöveg- és médiabányászat – szakirodalmi és Europe Media Monitor (EMM) -alapú témakövetés, együttes előfordulási hálózatok, érzelem (szentiment) -elemzés.
- Szabadalmi hálózatelemzés – strukturális lyukak, Bray–Curtis-dissimilaritás (Baranyi *et al.* 2024) a technológiai áttörések korai jelzésére.
- Weak-signal mining és dinamikus LDA – ritka, de gyorsan növekvő kifejezések kiemelése.

A fenti módszerek ötvöztetésével a „zajból” kinyert előjelek szakértői validálással kockázati narratívává alakíthatók. A folyamat erőssége a szakértői validálás és a gépi előszűrés kombinációja, ami transzparens döntési naplót és visszakövethető intézkedéseket tesz lehetővé. A rendszer jelenleg is fejlesztés alatt áll (pl. HOLiFOOD projekt keretében fejlesztett AI-alapú rendszerdinamika).

A legfontosabb újonnan felmerülő, azonosított kockázatok

Az elmúlt években (2020–2024) kiemelt kockázati klaszterek az alábbiak voltak.

1. Mikrobiális biztonság friss, fogyasztásra kész zöldségekben és gombákban.
2. Kedvtelésből tartott állatok takarmányaihoz kapcsolódó toxinok és AMR.
3. Mikro- és nanoműanyagok akkumulációja és kémiai kötött szennyezők.
4. Antimikrobiális rezisztencia új terjedési útvonalai.
5. Új kémiai kontaminánsok (pl. FCM-migránsok, PFAS-vegyületek).
6. Fenntarthatósági trendekhez köthető új kockázatok – alternatív fehérjék, élelmiszer-hulladék újrahasznosítása.
7. Géntechnológiai és nanotechnológiai innovációk kockázatai.
8. Klímaváltozás okozta mikotoxin-mintázattal változások.
9. Új vagy új területekre betörő zoonotikus kórokozók.
10. Fogyasztói trendek (pl. otthoni fermentálás) okozta háztartási kockázatok.

Diszkusszió

Az élelmiszerlánc-biztonsági kockázatok integrált kezelése alapvető fontosságú a globális élelmiszer-ellátási lánc fenntarthatósága szempontjából. Az újonnan felmerülő élelmiszer-biztonsági kockázatok korai azonosítása több időszávu horizontvizsgálatot, hibrid (kulcsszó- és mintázatalapú) adatközpontú módszereket, MI-támogatást és nélkülözhetetlen emberi szakértelmet igényel. Az adaptív keretrendszerek lehetővé teszik a kockázatok dinamikus kezelését és az ellátási lánc rezilienciájának növelését. Az idősíkok közötti visszacsatolások mechanizmusok biztosítják, hogy a rövid távú incidensek tapasztalatai beépüljenek a közép- és hosszú távú stratégiai tervezésbe, ezáltal megalapozva a jövőbeli kockázatkezelési stratégiákat.

A klímaváltozás, a demográfiai változások, a technológiai újítások és a geopolitikai instabilitás együttes hatása olyan komplex kihívásokat teremt, amelyek új megközelítéseket igényelnek az élelmiszer-biztonság területén. Az adattudományi módszerek és a mesterséges intelligencia alkalmazása lehetőséget biztosít a gyors és hatékony adatelemzésre, amely támogatja a hatósági döntéshozatalt és az ipari önellenőrzési rendszereket.

A gyorsan változó globális környezetben az élelmiszerlánc-biztonság fenntartása csak a multidiszciplináris megközelítések és az innovatív technológiák integrálásával valósítható meg hatékonyan. Az új keretrendszerek és módszerek széles körű bevezetése elengedhetetlen ahhoz, hogy az élelmiszer-biztonsági rendszerek lépést tartsanak a változó kihívásokkal.

Összességében elmondhatjuk, hogy az ÁTE modellje jó példa arra, hogyan működtethető az adat, az MI és a szakértői tudás hármasára építve egy agilis, mégis szabályozott rendszer, amely időben jelzi a feltörekvő élelmiszer-biztonsági problémákat, és döntéstámogató infor-

mációt nyújt a nemzeti és európai hatóságok számára. A szakértők szerepe kritikus és nélkülözhetetlen: egyrészt strukturált módon épít be domaintudást a modellek paraméterezésébe, másrészt kritikus ellenőrzőpontként szolgál az algoritmusok kimenetének értelmezésében. A szakértői bevonás folyamatosan jelen van: iteratív visszacsatolási hurkokon keresztül finomítja a kockázatt prioritizációt és a modellpontosságot, miközben biztosítja a technikai megoldások és a valós igények közötti összhangot.

A jövő élelmiszer-biztonsági kihívásainak megoldása csak a technológia, az adatvezérelt módszerek és az emberi szakértelem szoros együttműködésével valósítható meg. Az ÁTE modellje nemcsak az új kihívásokra kínál hatékony választ, hanem alapvetően új alapokra helyezi az élelmiszer-biztonság kezelését. Az adaptív és integrált megközelítések révén a globális élelmiszerláncok fenntarthatósága és rezilienciája erősödik, lehetővé téve, hogy a társadalom felkészülten nézzen szembe a jövő kihívásaival. Az innováció és a szakértelem harmonikus összjátéka biztosítja, hogy az élelmiszer-biztonság terén tett lépések ne csak relevánsak, hanem proaktívak is legyenek, megteremtve ezzel a biztonságos és fenntartható jövő alapjait.

Irodalomjegyzék

- Baranyi, J., Csorba, S., Farkas, Z., Pacza, T. & Józwiak, Á. (2024) Internal dynamics of patent reference networks using the Bray–Curtis dissimilarity measure. *Journal of Big Data*, Vol. 11. Article No. 27. <https://doi.org/10.1186/s40537-024-00883-z>
- EFSA (European Food Safety Authority) (2007) Definition and description of “emerging risks” within the EFSA’s mandate. Scientific Committee and Advisory Forum Unit, Parma. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/emerging-risks>
- EFSA (European Food Safety Authority), Abbinante, F., Basic, S., Foster, D., Fuchs, K., Georgieva, N., Jozwiak, Á. ... Wienk, K. (2024) 2023 Annual Report of the Advisory Group on Data. EFSA Supporting Publication EN-8760. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2024.EN-8760>
- EFSA (European Food Safety Authority), Abbinante, F., Baggesen, D. L., Bašić, S., Flamini, V., Foster, D., Fuchs, K., Grahek-Ogden, D. ... Wienk, K. (2025) 2024 Annual Report of the Advisory Group on Data. EFSA Supporting Publication EN-9374. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2025.EN-9374>
- EFSA (European Food Safety Authority), Afonso, A., Garcia Matas, R., Gkrintzali, G., Maggiore, A., Merten, C., Rortanis, A. & Robinson, T. (2020) Technical report on EFSA’s activities on emerging risks in 2019. EFSA Supporting Publications EN-1924. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1924>
- FAO (2014) Horizon Scanning and Foresight: An overview of approaches and possible applications in food safety. Background paper. FAO Early Warning/Rapid Alert and Horizon Scanning Food Safety Technical Workshop. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/346e5c79-83ad-46e5-b28e-961996ba03bd/content>
- FAO (2015a) Climate change and food security: Risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a4fd8ac5-4582-4a66-91b0-55abf642a400/content>
- FAO (2015b) Enhancing early warning capabilities and capacities for food safety: Training handbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. www.fao.org/3/I5168E/i5168e.pdf
- FAO (2017) The future of food and agriculture: Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2c90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4c24/content>
- FAO (2018) The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2c6bd7b4-181e-4117-a90d-32a1bda8b27c/content>
- FAO (2021) Strategic Framework 2022–31. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/29404c26-c71d-4982-a899-77bdb2937eef/content>
- FAO (2022a) Thinking about the future of food safety. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb8667en>
- FAO (2022b) The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0959en>
- FAO (2024) Food safety in a circular economy. Food Safety and Quality Series, No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1789en>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO (2023) The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Farkas, Zs., Ország, E., Engelhardt, T., Zentai, A., Süth, M., Csorba, Sz. & Józwiak, Á. (2023) Emerging risk identification in the food chain – A systematic procedure and data analytical options. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 86. Article No. 103366. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103366>
- HOLIFOOD project (2022) Future-Proofing Food: Transforming Risk Analysis for a better and more adaptive food system. European Union’s Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. 101059813. <https://holifoodproject.eu>
- Józwiak, Á. (2024) Future food systems risks and their identification. Doctoral course, Università Cattolica del Sacro Cuore.
- Palmas, E., Engelhardt, T., Farkas, Zs., Csorba, Sz., Ország, E. & Józwiak, Á. (2022) Emerging risk identification by applying data analytical tools. *EFSA Journal*, Vol. 20 (Suppl. 2). No. e200913. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.e200913>
- WHO (2015) WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007–2015. World Health Organization, Geneva. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565165>
- WHO (2023) Emerging technologies and scientific innovations: A global public health perspective. WHO global health foresight series. World Health Organization, Geneva. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073876>