

BLOKKLÁNC A LOGISZTIKÁBAN

BLOCKCHAIN IN LOGISTICS

Vass Márk¹, Csipkés Margit¹

¹ Logisztikai Menedzsment nem önálló Tanszék, Gazdaságtudományi Kar, Debreceni Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

Blokklánc
Logisztika
Ipar 4.0

Keywords:

Blockchain
Logistics
Industry 4.0

Összefoglalás

A logisztikai és ezáltal üzleti hatékonyság és teljesítmény egyre nagyobb mértékben függ a decentralizált és hamisításbiztos nyilvántartásoktól a tranzakciók és adatáramlások kezelésében. Ezen okok miatt a blokklánc technológia (BCT) használata és szakszerű bevezetése kulcsfontosságúvá válik a digitális és globalizált gazdaság versenyképességének a megőrzéséhez. Célunk megvizsgálni az elmúlt években megjelent blokklánc a logisztikában témájú cikkek együttműködési hálózatait. Feltárni melyek azok meghatározó tanulmányok, amelyek kulcsfontosságúak lehetnek. Az adatokat a Web of Science tudományos adatbázisból gyűjtöttük a PRISMA irányelvei alapján. Az eredményeket VOSviewer bibliometriai elemző szoftver segítségével szemléltettük. A szűrési lépések eredményeként 32 releváns tanulmányt vizsgáltunk meg részletesen. Megállapítottuk, hogy a kutatásokban Anglia és Kína töltene be vezető szerepet és több kutatócsoport párhuzamosan járul hozzá a tudományos eredményekhez. A kulcsszavak elemzése alapján összesen öt klaszter azonosítható, amelyek eltérő kutatási területeket képviselnek.

Abstract

The efficiency and performance of logistics, and thereby business operations, increasingly depend on decentralized and tamper-proof records for managing transactions and data flows. For these reasons, the use and professional implementation of blockchain technology (BCT) has become essential to preserving the competitiveness of the digital and globalized economy. Our aim was to examine the collaboration networks of articles on blockchain in logistics published in recent years, and to identify the key studies that may prove fundamental. Data was collected from the Web of Science scientific database in accordance with the PRISMA guidelines. The results were visualized using the VOSviewer bibliometric analysis software. As a result of the screening process, we analyzed 32 relevant studies in detail. We found that the United Kingdom and China play leading roles in this field, with several research groups contributing simultaneously to the scientific outcomes. Based on keyword analysis, a total of five clusters were identified, each representing distinct research areas.

1. Bevezetés

Az ellátási lánc az áruk létrehozásának és elosztásának összetett folyamataihoz kötődik. A terméktől függően az ellátási lánc sok fázist, több földrajzi helyet, több számlát és fizetést, több személyt, entitást és szállítóeszközt tartalmazhat. Ez az oka annak, hogy az árubeszerzés több hónapra is meghosszabbodhat. A hagyományos ellátási láncok összetettsége és átláthatatlansága miatt a logisztikai folyamatban érintett szereplők számára kiemelten fontos a blokklánc technológia bevezetése és fejlesztése az ellátási lánc logisztikai folyamatainak fokozása, illetve a fenntarthatóbbá tétele érdekében. Leggyakrabban a blokklánc technológiát emlegetik és használják a kriptovalutákban, de a lehetséges alkalmazások köre lényegesen nagyobb. A blokklánc (továbbiakban BCT) egy elosztott könyv (főkönyv), számos lehetséges alkalmazással. Bármilyen

adatcserére használható, legyen szó szerződésekről, küldemények nyomon követéséről és pénzügyi cseréről (kifizetésről). Minden egyes műveletet rögzít a blokkban és az adatokat sok csomóponton (számítógépen) osztják el, átláthatóvá téve a rendszert (Shreya et al., 2023). Minden blokk csatlakozik az előtti és utáni blokkhoz, ezzel is fokozva a biztonságot. A BCT növelheti az ellátási lánc hatékonyságát és átláthatóságát és pozitívan befolyásolhatja az összes logisztikai folyamatot, a tárolástól a szállításhoz és a fizetésig. A BCT révén elért fokozott átláthatóság és biztonság mellett lehetőség nyílik az áruk fizikai áramlásának felgyorsítására is. Az áruk BCT-n keresztüli nyomon követése javíthatja a döntéshozatali folyamatot és a végeredmény kielégítőbb szolgáltatást nyújt a végfelhasználó számára. A BCT új logisztikai szolgáltatások, valamint új üzleti modellek létrehozásának lehetőségét rejti magában. Viszonylag új technológiaként a BCT-t úgy tervezték, hogy széles körben alkalmazható módon érje el a decentralizációt, a valós idejű peer-to-peer (vagyis központi szerver nélküli) működést, az anonimitást, az átláthatóságot, a visszafordíthatatlanságot és az integritást. Ennek a technológiának azonban továbbra is vannak sebezhetőségei és kihívásai, amelyeket nem szabad elhanyagolni. Az egyik szembejövő korlát a teljesítménye. Minden tranzakció ellenőrzéséhez a hálózat minden csomópontjának nyugtázása szükséges, ami lényegesen több időt vesz igénybe, mint a központosított rendszer (Tijan, et al 2019).

A BCT fellendülése és használatának növekedése visszavezethető az élelmiszer ellátási láncokhoz. Az élelmiszer-ellátási láncok vonzották a kutatásokat (Casio et al. 2020; Kumar 2018, Raut 2022) az élelmiszerek nyomon követhetőségének és eredetének javítására az IoT és a BCT integrálása révén. Míg ezek a tanulmányok az architektúra és az analitikai modellek párosítását javasolták az integráció kompetenciájának bemutatására, elméleti feltárásokra van szükség annak magyarázatához, hogyan lehet összekapcsolni ezt a két technológiát, ami kritikus fontosságú a kísérleti és használati esetek túllépése szempontjából (Warvick, 2022). A meglévő BCT-alapú élelmiszer-ellátási lánc projektek túlnyomórészt az élelmiszerek nyomon követhetőségére összpontosítanak és valami „abszolút” igazságot akarnak elérni és ezáltal „megoldani” a nagyobb állítások nyomon követhetőségi kihívásait (Aimad, 2016).

A BCT-n belül elengedhetetlen, hogy beszéljünk a hibás adat, vagyis a „szemét” létrejöttéről és arról, hogy milyen módon hat a rendszerre. Az IoT és a „big data” korszakában a „szemét be, szemét ki” régi közmondás (GIGO, vagy szemét be, szemét ki – RIRO az Egyesült Királyságban) általában azt a kihívást írja le, hogy a hibás vagy korrupt bemeneti adatok értelmetlen kimenetet, vagyis „szemetet” eredményeznek (Jian, 2013).

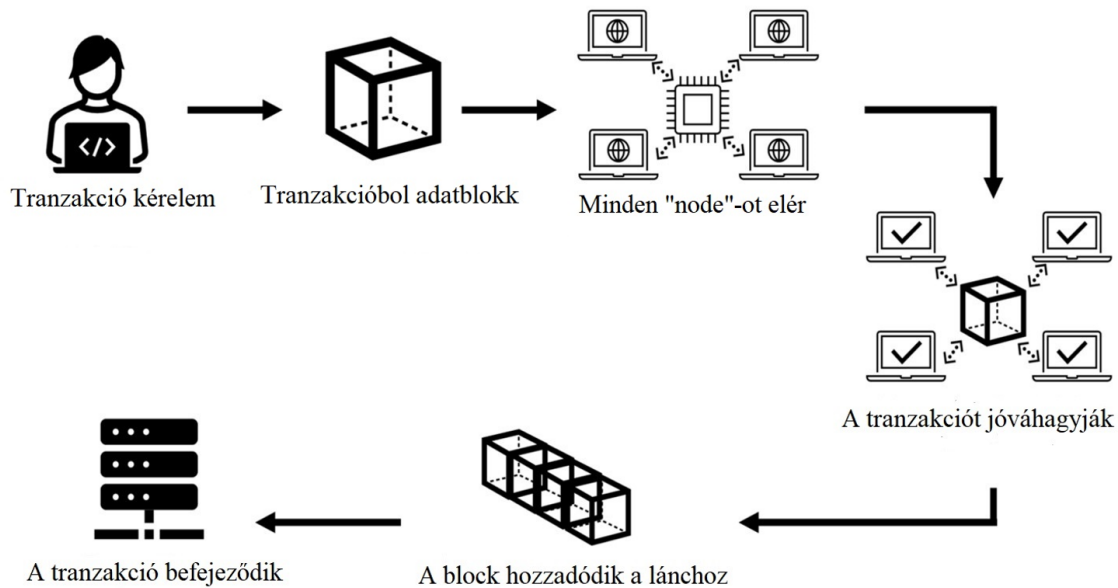
Ha az IoT akarjuk használni adatgyűjtéshez és a BCT-t pedig adat tároló eszköznek az még nem garantálja azt, hogy egy termék vagy a termékek rendelkezni fognak a tárolt adatban leírt tulajdonságok bármelyikével. Előfordulhat, hogy az IoT-eszközök hibásak vagy nem megfelelően vannak alkalmazva, manipulálhatók, a kommunikáció elfogható és az adatok hitelessége veszélybe kerülhet. Ezek jól ismert biztonsági problémák, amelyek már önmagában is kiterjedt szakirodalmat hoztak létre. Ily módon a GIGO problémája a BCT-alapú ellátási láncokban súlyosbodna, ha értelmessé válna a valós idejű adatok nagy tömegének nyomon követése, amelyek sokrétűek és változatosak, és gyakran strukturálatlanok. Vagyis megtörténhet az, hogy a BCT-n lévő összes adat kiemelten biztonságos, de emellett értéktelen is (Alem, 2018).

A Block Chain technológia az elmúlt években nagy érdeklődést váltott ki mind a tudományos világban, mind az ellátási lánc iparágában, és elkezdtek használni az ellátási lánc folyamataiban (Wang et al., 2019). A technológiával összefonódó ellátási lánc ipar számára fontos elemezni és értékelni a BCT integrációjával jelentkező hatásokat. Így a vállalatok jobban tudják kontrollálni a jövőbeli outputokat és ingadozásokat. Meg kell határozni az új technológiai integrációt követően várhatóan feltároluló költség-, haszon- és kockázati tényezőket, és elemezni kell a köztük lévő kapcsolatot (Budak, 2021).

A BCT egyik alapvető működési sajátossága, hogy a tranzakciók elosztott hálózatban zajlanak, központi irányító szerv nélkül. Az 1. ábra szemlélteti, hogyan jut el egy tranzakció a felhasználói kezdeményezéstől egészen a végleges rögzítésig a láncban, bemutatva a jóváhagyás, a blokképítés és a hozzáadás folyamatát.

A BCT tranzakciós folyamata a felhasználó által kezdeményezett tranzakciós kérelemmel indul. Ezt a rendszer egy adatblokká alakítja, amely tartalmazza a tranzakcióhoz kapcsolódó összes releváns információt. Az így létrehozott blokkot a hálózat minden csomópontja (node) megkapja, ahol a konszenzusmechanizmusok segítségével a tranzakció hitelességét ellenőrzik és jóváhagyják. A jóváhagyást követően a blokk hozzáadódik a meglévő láncban, amelynek sajátossága az

megváltoztathatatlan, vagyis a módosíthatatlanság. A folyamat végén a tranzakció véglegesnek tekinthető és minden résztvevő számára látható, transzparens módon rögzül a BCT-ben.



1. ábra. A BCT tranzakciós folyamatának szemléltetése

Forrás: Saját szerkesztés Almarrira (2024) alapján

1.1. BCT típusok

A BCT-architektúrák típusainak áttekintéséhez különböző osztályozási szempontokat elemeznek, amelyek működési sajátosságaikra és felhasználási területeikre épülnek. Ezen megközelítések mindegyike egyedi előnyöket kínál, valamint meghatározott kihívások kezelésére szolgál a digitális ökoszisztémákban (Idrissi et al., 2024).

Négy BCT típust különítünk el:

- **Nyilvános BCT**: Egy engedély nélküli, elosztott főkönyvi rendszer. Bárki, aki rendelkezik internet-hozzáféréssel, csatlakozhat hozzá a platformon történő regisztrációval (Yang et al., 2020). A felhasználók – úgynevezett csomópontok – a hálózat részeként közösen biztosítják, hogy a nyilvántartások, a tranzakciók és az új blokkok ne sérüljenek vagy módosuljanak jogosulatlanul (Ferdous et al., 2021). A nyilvános BCT-k egyik legfontosabb alkalmazási területe a kriptovaluták (például a Bitcoin vagy a Litecoin) működtetése és cseréje. A legtöbb esetben ezek a rendszerek a felhasználói biztonsági szabályok betartását feltételezik. Ugyanakkor kockázatot jelenthet, ha a résztvevők nem követik ezeket az irányelveket.
- **Privát BCT**: Zárt hálózaton működő, engedélyhez kötött rendszer, amelyhez kizárólag a kijelölt résztvevők férhetnek hozzá (Xu et al., 2019). Az ellenőrzés és a hozzáférés menedzsmentje egyetlen szervezet (például egy vállalat) feladata. A biztonság, a jogosultságok kiosztása és az adatkezelés teljes mértékben az adott szervezet felügyelete alatt áll. A privát BCT kisebb és korlátozottabb hálózat, mint a nyilvános megoldások. Gyakorlati alkalmazási területei közé tartozik a szavazási rendszerek kialakítása, az ellátási lánc menedzsment, illetve a tulajdonjogok nyilvántartása.
- **Konzorciumi BCT**: Olyan félig központosított modell, amelyet több szervezet közösen irányít (Baliga, 2017). Ellentétben a privát BCT-vel, ahol egyetlen szervezet birtokolja az irányítást, a konzorciumi rendszerben a résztvevő szervezetek közösen döntenek a hozzáférésekről és az adatok megosztásáról. Az ilyen típusú BCT-eket leggyakrabban a bankszektorban és kormányzati intézményekben alkalmazzák (például a Bitcoin, az Ethereum) (Ali A, 2025).
- **Hibrid BCT**: a nyilvános és privát megoldások kombinációja. Ebben a modellben mindkét rendszer előnyei érvényesülnek: a felhasználók egyszerre élvezhetik a privát, engedélyalapú működés előnyeit, valamint a nyilvános, engedély nélküli hozzáférés

átláthatóságát (Wang et al., 2019). A hibrid blokkláncokban a felhasználók szabályozhatják, hogy ki férhet hozzá az adatokhoz. A privát hálózaton belüli nyilvántartások rejtve maradnak, míg egyes tranzakciók a nyilvános blokkláncokra is átvihetők további validáció érdekében. Ez a megoldás lehetővé teszi több nyilvános BCT összekapcsolását és jelentősen növeli a hálózat biztonságát és átláthatóságát (Idrissi et al., 2024).

Látható, hogy a szakirodalomban 4 BCT típus létezik, azonban ebből 3 meghatározó, melyet az 1. táblázatban be is mutatok.

1. táblázat. A különböző BCT típusok összehasonlítása

Tulajdonság	Nyilvános BCT	Konzorciumi BCT	Privát BCT
Konszenzus meghatározása	Minden bányász	Kiválasztott csomópontok csoportja	Egy szervezet
Olvasási jogosultság	Nyilvános	Lehet nyilvános vagy korlátozott	Lehet nyilvános vagy korlátozott
Megmásíthatatlanság	Szinte lehetetlen manipulálni	Manipulálható	Manipulálható
Hatékonyság	Alacsony	Magas	Magas
Központosítottság	Nem	Részben	Igen
Konszenzus folyamata	Engedély nélküli (permissionless)	Engedélyköteles (permissioned)	Engedélyköteles (permissioned)

Forrás: Saját szerkesztés Ballamudi (2016) alapján

A nyilvános BCT-k kiemelkednek a decentralizáció és a biztonság terén, de hatékonyságuk alacsony. A konzorciumi BCT-k kompromisszumot kínálnak: a részleges központosítással jobb hatékonyság érhető el, miközben megmarad egy bizonyos szintű átláthatóság. A privát BCT-k a legmagasabb hatékonyságot nyújtják, ám a centralizáció és a manipuláció lehetősége miatt kompromisszumot jelentenek a biztonság és a megbízhatóság tekintetében.

A BCT résztvevőjének tranzakciós díjat kell fizetnie, ha bármilyen tranzakciót próbál végrehajtani. A nyilvános főkönyvben szereplő minden tranzakciót a rendszer résztvevőinek többsége konszenzusos mechanizmussal igazolta. A tranzakció feldolgozásáért a hálózat bizonyos számítógépeinek („bányászoknak”) megfelelő hash-t kell találniuk a tranzakciós blokkjukhoz és ez a folyamat számításgényes probléma. Ahogy korábban említettük, minél nagyobb a BCT résztvevőinek száma, annál nagyobb a hálózat megbízhatósága és sikeressége, ezért a bányászokat meg kell jutalmazni a munkájukért (új tranzakciós blokk hozzáfűzése a BCT-hez). A tranzakciós díj hozzá van rendelve ahhoz a bányászhoz, aki létrehozta a blokkot, amelyhez a tranzakció hozzáadásra került. A díj kiszámítása a BCT kriptovalutában történik, és minden BCT-nek saját módszere van ennek a költségnek a kiszámítására. A Bitcoin BCT a tranzakció költségét a blokkon belül elfoglalt hely alapján számítja ki.

1.2. Konszenzus mechanizmusok

A konszenzusos mechanizmus mögött meghúzódó gondolat az elosztott főkönyv gyakori biztonságos frissítése. Az egyik alapvető technika az a BCT blokkjának a replikációja, amely biztosítja a megosztott állapotok meglétét és végrehajtását az előre meghatározott szabályozások alapján. Mivel a blokk a hálózaton belül több replika között van megosztva, a blokk másolása végül azonos kimeneteket eredményez. Ezért a replikáknak kölcsönhatásba kell lépniük és konszenzusos séma segítségével megállapodásra kell jutniuk a jelenlegi BCT állapot lehetséges módosításairól. A konszenzus segít a replikáknak dönteni az egyes állapotok véglegességéről. A konszenzus megvalósítása elosztott rendszerekben bonyolult, mivel konszenzusos mechanizmusra van szükség a nehézségekkel szembeni tolerancia, a hibatűró képesség, a hálózaton belüli particionálás, a késleltetési kitartás és más fontos tulajdonságok fenntartásához. Ezenkívül olyan biztonsági intézkedéseket is magában foglal, mint például a rosszindulatú csomópontok kezelése olyan szabályozások elfogadásával, mint a szinkronizálás vagy az üzenetszórás.

A konszenzusos mechanizmusok alkotják minden BCT-alapú alkalmazás gerincét. A BCT decentralizált jellege megköveteli a szabályokat, amelyek meghatározzák, hogy a felhasználók hogyan tudnak megegyezni egy adott állapotról. Ezt a szabályrendszert a konszenzusos mechanizmusok biztosítják. Az első konszenzus-algoritmust, az „Proof of Work” (továbbiakban PoW) ez egy egyszerű konszenzus mechanizmus arra épül, hogy egy hosszú matematika feladatot kell megoldani, aminek az elkészítése teljesíti a konszenziust a Bitcoin BCT-nél vezették be. Azóta számos konszenzusos algoritmust vezettek be a BCT-alkalmazások igényeinek kielégítésére. A közös konszenzusos megközelítésekből a PoW a leggyakoribb. A PoW egy nagyon nehezen azonosítható, de könnyen ellenőrizhető megoldás elvén működik. A legtöbb BCT-megvalósítás ezt a PoW-t használja konszenzusmechanizmusként. Itt egy összetett probléma megoldásával jönnek létre az új csomópontok. Ez a folyamat rendkívül számításgényes és ezért nagy kapacitású számítógépeket igényel (Tripathi et al., 2023).

A logisztikai és ellátási lánc iparága a BCT technológia egyik legtöbbet emlegetett felhasználási esete. Az ellenőrzési nyomvonal és az iratok hamisításmentes történetének támogatása jobb választássá teszi az ellátási lánc és a logisztika számára. A hagyományos üzletágak az egyes felek közötti bizalomra épültek, de a technológia megjelenésével és a vállalkozások modernizációjával a hagyományos folyamatok jelentős felborulása következett be. A BCT integrálása a meglévő ellátási lánc folyamataiba jelentősen csökkenti a csalások és a rakománylopások előfordulását azáltal, hogy egyetlen platformot biztosít az iratok hitelességének, átláthatóságának, történetének és eredetének biztosítására. Ez minden érdekelt fél (a gyártókat, beszállítókat, auditorokat, ügyfeleket és logisztikai partnereket) javát szolgálja és foglalkozni fog azok nagymértékben eltérő érdekeivel és harmadik felekkel. Sok szervezet a BCT technológia kulcsfogalmait használja a meglévő ellátási láncok hatékonyabbá és megbízhatóbbá tételére. Sok BCT-alapú alkalmazása egyikében az IBM azon dolgozik, hogy a BCT technológiát alkalmazva a végfelhasználókat magabiztosabbá tegye az afrikai hamisított gyógyszerek problémájának megoldásán (Tripathi et al., 2023).

1.3. Az Internet of Things innovációs jelentősége

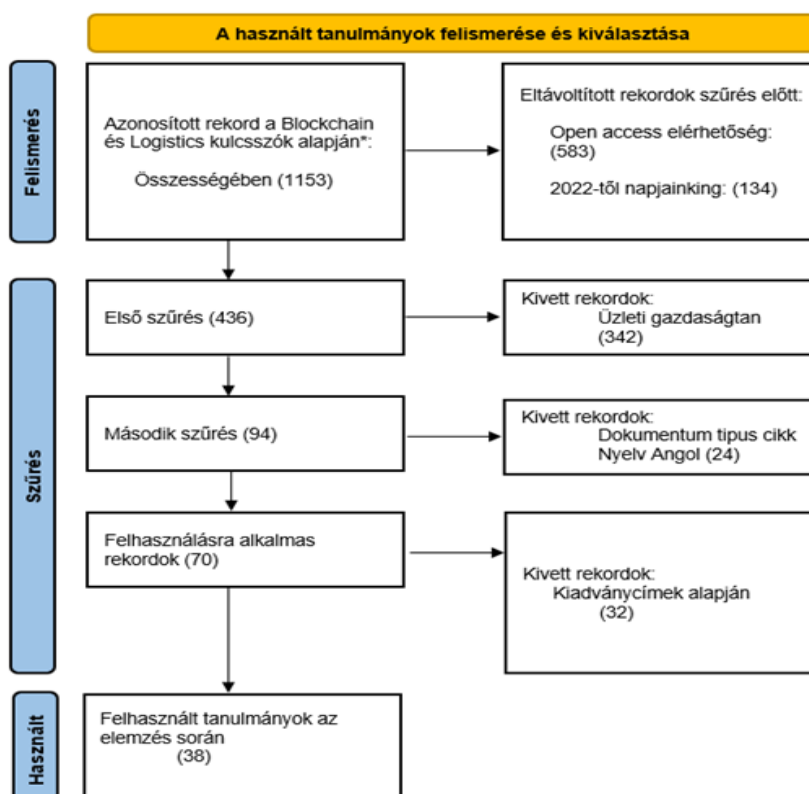
A „tárgyak vagy dolgok internete” jelentős innovációt jelent az információtechnológiában. A „dolgok internete” (továbbiakban IoT) kifejezés azt írja le, hogy a fizikai tárgyak hogyan kapcsolódnak egymáshoz az interneten keresztül. A „tárgyak internete” fogalma nem újkeletű, hiszen a különböző objektumok évek óta összekapcsolódnak és kommunikálnak egymással. Az IoT-t a legkorszerűbb technológiának tekintik, amely lehetővé teszi a mindenütt jelen lévő és univerzális adatcserét azáltal, hogy mindent az internethez csatlakoztat. Ez a forradalom az internet folyamatos fejlesztésére, a technológiai fejlesztésekre, a szoftverekre, a kommunikációs protokollokra, a folyamatosan fejlődő kütyübe ültetett szenzorokra, valamint az információnyújtás és a valós idejű környezetérzékelés terén egyre jobb objektumokra épül. A dolgok internetének köszönhetően sok eszköz képes állandó kapcsolatot fenntartani a hálózattal és folyamatosan információt cserélni. Az IoT paradigmája két különböző szemszögből értelmezhető: dolog-orientált és internet-orientált. Az IoT-re úgy tekintenek, mint egy olyan technológiára, amely a dolgokat, beleértve a fizikai és virtuális entitásokat is, intelligenssé teszi a dolgok-orientált látásmódban. A beágyazott fejlesztési technológiák (mint például az RFID), az érzékelők, a számítások és a kommunikáció lehetővé teszik olyan intelligens objektumok létrehozását, amelyek képesek látni, hallani, gondolkodni, megosztani az információkat, koordinálni a cselekvéseket és elvégezni a feladatokat. Ha az interneten alapul, akkor az alkalmazások alkotják a szerkezet nagy részét, míg a többit az adatvezérelt entitások teszik ki. Ha egy objektum középpontjában áll, az architektúra magja tárggyá alakul át. „Objektumfelhőnek” nevezik, keretként szolgál, amely lehetővé teszi az infrastruktúra hatékony kihasználását. Az IoT-képes valós idejű adatfolyamatot kínálni az egyes rendszerelemek állapotáról a világ bármely pontján (Idrissi et al., 2024).

Jelenleg a legtöbb iparág nem rendelkezik robusztus rendszerrel a termék életciklusának nyomon követésére a nyersanyag-szakasztól egészen addig, amíg el nem jut a vásárlókhoz. Néhány évtizeddel ezelőttig egy termék életciklusa véget ér, amikor a terméket eladják a fogyasztónak. A vevői elégedettség javítása és hírnevük megőrzése érdekében azonban számos autóipari és gyártó cég megkezdte termékeinek visszahívását, ha úgy találja, hogy termékeik nem felelnek meg az előírt minőségi vagy szabályozási követelményeknek. Ezen túlmenően néhány országban a környezetvédelmi törvények arra ösztönzik a gyártókat, hogy adókötelezettségekkel és ösztönzőkkel

gyűjtsék össze a használt termékeket a vásárlóktól újrahasznosítás céljából. Ezenkívül a fenntartható gyakorlatok megfelelő keretrendszerének elfogadásával és a körforgásos gazdaság előmozdításával még a vállalkozások is világszerte arra kezdtek összpontosítani, hogy a nyereség mennyit hozzon létre. A körkörös gazdaság a lineáris gazdaság alternatív modellje, amelynek célja az érték maximalizálása az erőforrások csökkentésével, visszanyerésével és újrahasznosításával a környezetre nehezedő terhelés csökkentése érdekében. Ez az új kor követelménye az olyan folyamatok esetében, mint a termékvisszahívás, újrahasznosítás, visszaküldés, javítás és csere, amelyeket „fordított logisztikának” neveznek, modern megoldást igényel a termékek hatékony nyomon követéséhez még sok évvel az értékesítés után is (Santhi & Muthuswamy, 2022).

2. Anyag és módszer

Az adatokat a Science Direct tudományos adatbázisból gyűjtöttük össze, majd a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) irányelvei alapján adatszűrés történt a releváns és irreleváns publikációk elkülönítésére. A szűrés után megmaradt cikkek és tanulmányok vizualizációja a VOSviewer bibliometria elemző szoftver segítségével valósult meg, amely segítségével a kutatási trendek, kulcsszó-kapcsolatok és tudományos együttműködési hálózatok feltérképezését végeztük el. Az adatgyűjtés elsőként a *Blockchain* és (AND) *Logistics* kulcsszavak felhasználásával történt a Science Direct oldalán, mivel a korábbi szakirodalom kutatásában ezt találtuk relevánsnak. Az adatbázis-lekérdezés összesen **1153 cikket** eredményezett (3. ábra) (Page et al., 2021).



2. ábra. A cikk kiválasztás lépései a Blockchain és Logisztika témakörben (PRISMA folyamatábra)

Forrás: Saját szerkesztés, 2025

Az első szakaszban előszűrésre került sor, amelynél az open access formátumban nem elérhető tanulmányok (583 cikk), valamint a 2022 után megjelent publikációk (134 cikk) kerültek eltávolításra azért, hogy a felhasznált cikkek könnyen elérhetőek legyenek és a szakirodalomban felvázolt releváns időszávot vizsgáljuk. Ezt a lépést követően 436 tanulmány maradt további feldolgozásra.

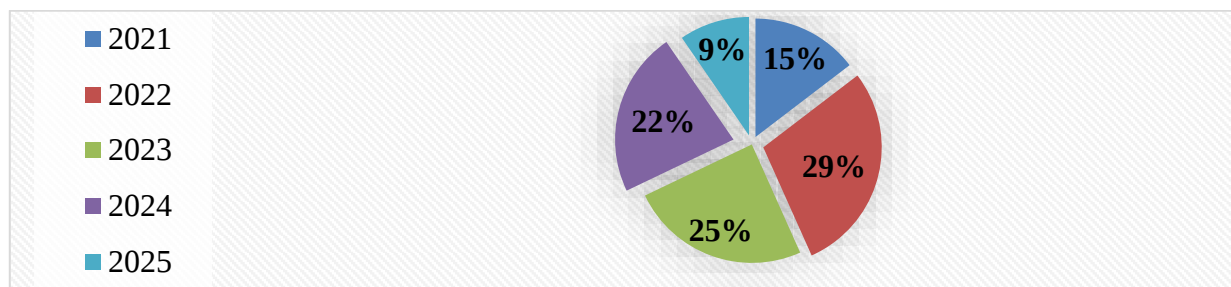
Az első szűréskor a tartalmi relevancia alapján kizárásra kerültek az üzleti gazdaságtan kategóriába sorolt munkák (342 cikk). A kizárás oka az volt, hogy kizárólag logisztika alapú cikkeket akartunk dolgozni mivel ez adta a legnagyobb relevanciát a témakörhöz. Így a második körben 94 tanulmány vizsgálata történt meg.

A második szűrés a nyelvi és formai kritériumok alapján zajlott: azok a publikációk estek ki, amelyek nem angol nyelven íródtak ilyenek voltak a kínai és egyéb idegennyelvű tanulmányok vagy dokumentumtípusuk nem felelt meg az előírásoknak, tehát nem WORD vagy PDF formátumot használtak fel az archiválás során (24 cikk). Ezt követően 70 folyóirat cikk maradt a mintában.

A végső szűrés a kiadványcímek elemzésén alapult, vagyis elismert és megbízott kiadóktól fogattunk el tanulmányokat ilyenek voltak az egyetemek, logisztikai lapok és tudományos újságok, melyek alapján további 38 tanulmány került kizárásra. Az így kiválasztott 32 tanulmány bizonyult alkalmasnak a végső elemzésbe való bevonásra. A kezdetben azonosított 1153 publikáció körülbelül 3,3%-a került tényleges feldolgozásra, mely arány jól tükrözi a szisztematikus szakirodalomkutatás szigorúságát, amely a PRISMA-irányelvek alkalmazásával biztosítja, hogy a bevont tanulmányok megfeleljenek a relevancia, a nyelvi megfelelés és a hozzáférhetőség kritériumainak

3. Eredmények

A blockchain technológia vizsgálata az elmúlt években jelentős változásokon ment keresztül. A 3. ábra a 2021 és 2025 között megjelent releváns tudományos publikációk részarányát mutatja.



3. ábra. A Blockchain témájú cikkek részarányai 2021-2025 között

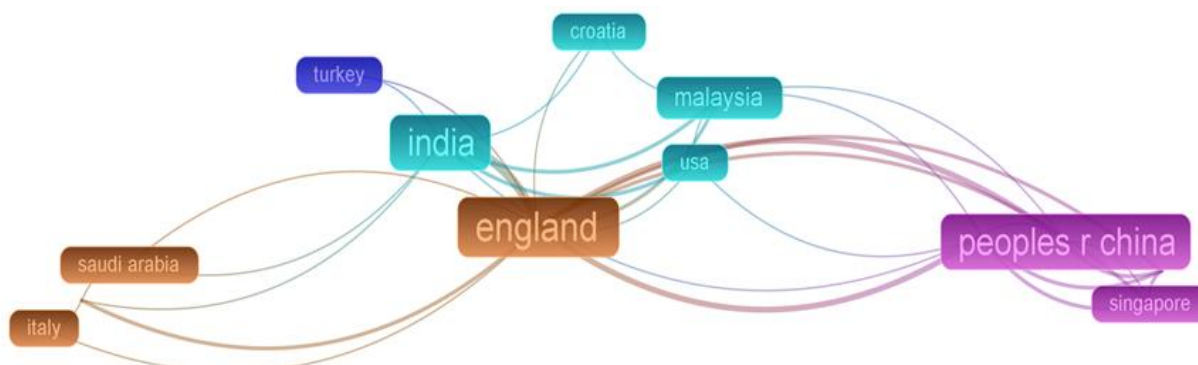
Forrás: Saját szerkesztés, 2025

Megállapítható, hogy a legtöbb publikáció 2022-ben született (302 cikk, 29%), valószínűleg azért, mert a Covid-19 által elrendelt otthonlét több időt adott a kutatásra és publikálásokra. Ez az év egyfajta fordulópontként értelmezhető, amikor a blockchain témája kiemelt figyelmet kapott a tudományos életben. A 2022-es kiugrást követően a publikációk száma mérsékelten csökkent: 2023-ban 259 tanulmány (25%), míg 2024-ben 237 cikk (22%) jelent meg. Ez a tendencia a kezdeti intenzív érdeklődés stabilizálódását mutatja, amely arra utal, hogy a kutatások egyre inkább specializált irányokba terelődtek. 2025-ben mindössze 101 publikáció (9%) található az adatbázisban. Ez a szám a kutatási időszakban lett rögzítve, ami 2025 májusában zárult le.

3.1. Együttműködési hálózat vizsgálata a blockchain és logisztika témájú kutatások között

Az elemzés már csak azokat a cikkeket tartalmazza, melyek a szűrések után kiválasztásra kerültek. Összesen 32 folyóirat cikk felelt meg az elvárásoknak.

Az együttműködési hálózat elemzése alapján megállapítható, hogy a blockchain témájú kutatásokban Anglia és Kína töltenek be vezető szerepet (4. ábra). Ezek az országok nemcsak a publikációk számát tekintve kiemelkedők, hanem a nemzetközi együttműködések intenzitása és sokirányúsága miatt is fontos szerepet töltenek be.



4. ábra. Nemzetközi kutatási együttműködések a blockchain területén

Forrás: Saját szerkesztés a Web of Science adatai alapján, 2025

Anglia szoros kapcsolatokat ápol többek között Indiával, az Egyesült Államokkal, Olaszországgal és Szaúd-Arábiával, míg Kína elsősorban Szingapúrral, Angliával és az Egyesült Államokkal alakított ki meghatározó együttműködések. A másodlagos központok közül India, Malajzia és az Egyesült Államok emelhetők ki. India több irányban is kapcsolódik (például Angliához, Malajziához és Törökországhoz), ami azt mutatja, hogy az ország aktívan részt vesz a nemzetközi kutatási együttműködésekben. Malajzia összekötő szerepet tölt be az ázsiai (Kína, India) és nyugati (USA, Anglia) szereplők között, míg az Egyesült Államok fontos híd szerepet játszik az európai és ázsiai országok közötti kutatási kapcsolatok erősítésében. A regionális sajátosságok azt jelzik, hogy Európában Anglia erőssége egyértelmű, Olaszország és Horvátország inkább periférikus szereplőként jelennek meg. Ázsiában Kína a vezető tudományos központ, amelyhez több kisebb szereplő (például Szingapúr és Malajzia) is kapcsolódik. Törökország és Szaúd-Arábia jelenléte szintén jelzi az ázsiai országok növekvő érdeklődését a blockchain témájú kutatások iránt, ugyanakkor ezen kapcsolatok intenzitása jóval gyengébb, mint a központi országoké.

Külön vizsgáltuk kutatói klaszterek kapcsolatait is (5. ábra). Az együttműködési hálózat alapján három nagyobb kutatói közösség különíthető el: a barna klaszter a Kumar-Satish szerző köré épül, akinek a fő kutatási területe a Mesterséges Intelligencia és a BCT, a lila színnel Narkhede-Balkrishna E. által vezetett klaszter figyelhető meg aki az Ipari mérnöki tudományt és a műveleti menedzsment területén kutat. A sötét kék színnel jelölt klaszter pedig Raut-Rakesh D. szerző irányítja, aki az üzemeltetés és ellátási lánc menedzsment. Ezek a csoportok egymással is összekapcsolódnak, ami erős nemzetközi vagy interdiszciplináris együttműködésekre utal.

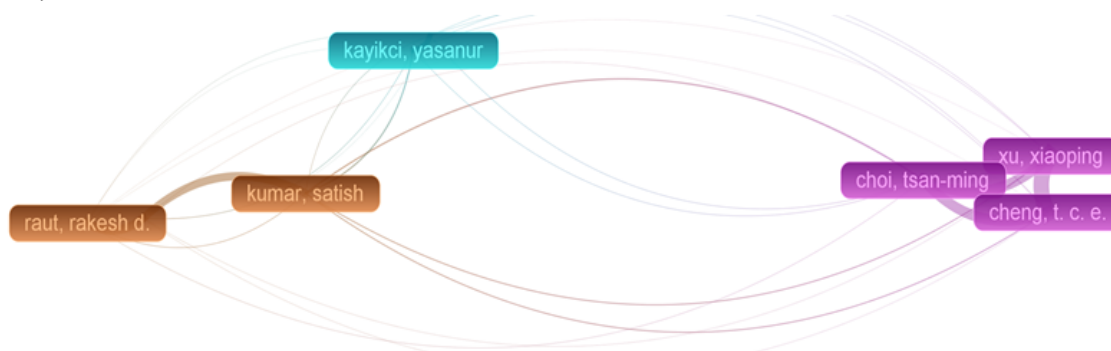


5. ábra. A szerzői klaszterek és kapcsolatok a blockchain szakirodalomban

Forrás: Saját szerkesztés a Web of Science adatai alapján, 2025

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a hálózat szerkezete kiegyensúlyozott, több központtal rendelkezik, ami arra enged következtetni, hogy a kutatási terület nem egyetlen szerzői klaszter köré szerveződik, hanem több erős kutatócsoport párhuzamosan járul hozzá a tudományos eredményekhez.

A kutatásban, külön figyelmet fordítottunk a szerzők által írt cikkek idézési mennyiségére (6. ábra).

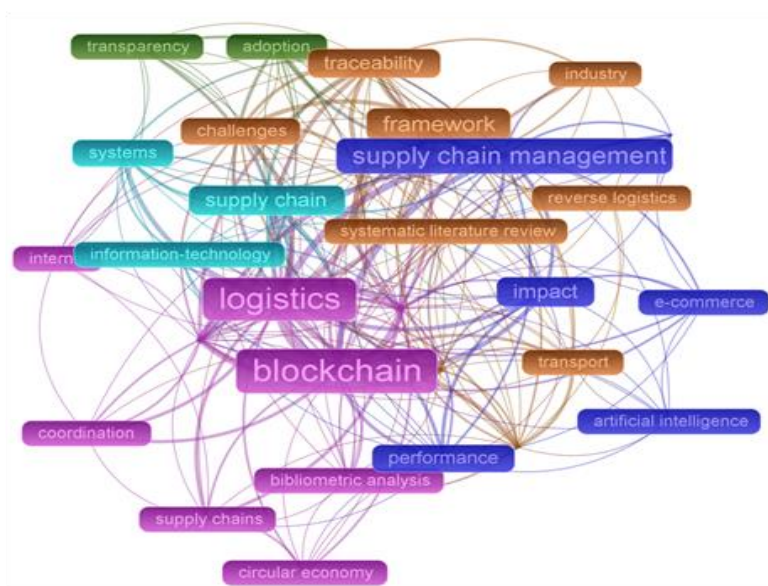


6. ábra. A legtöbbet idézett blockchain publikációk szerzői együttműködési hálózata
Forrás: Saját szerkesztés a Web of Science adatai alapján

A bibliometriai elemzésben vizsgált szerzői együttműködési hálózat azt mutatja, hogy a blockchain területén a legtöbbet idézett publikációk néhány kiemelt kutatói klaszterhez köthetők. A 6. ábrán jól látható, hogy a hálózat központi szereplői Kumar, Satish, Raut, Rakesh D., Choi, Tsan-Ming, Xu, Xiaoping és Cheng, T. C. E., akiknek munkái meghatározó hatással bírnak a tudományterület fejlődésére.

- A barna klaszter központi szerzői Kumar és Raut, elsősorban a blockchain és az ellátási lánc menedzsment összefüggéseit vizsgálják. A cikkek általában empirikus elemzéseket tartalmaznak, amelyek széles körben hivatkozott alpműveknek számítanak a tudományos életben.
- A lila klaszter szerzői (Choi, Xu és Cheng) inkább elméleti modellezési megközelítést alkalmaznak. Kutatásaik a blockchain más digitális technológiákkal (például az IoT-val, a big data analitikával és a mesterséges intelligenciával) való összekapcsolására irányulnak. A cikkek idézettsége kiemelkedően magas, mivel újszerűen mutatják be a blockchain alkalmazásait különböző iparágakban.
- A kék klaszter, amelynek központi alakja Kayikci, Yasanur, kisebb, de szintén meghatározó kutatói közösséget képvisel. Munkái a blockchain logisztikai és fenntarthatóság elemeire koncentrálnak, amelyek a közelmúltban egyre nagyobb figyelmet kaptak. Bár idézettsége kevesebb a többi klaszterek szerzőihez képest, jelenléte mégis meghatározó lehet az új irányok kialakulása szempontjából.

Elemeztük a különböző kulcsszavak megjelenésének a gyakoriságát (7. ábra).



7. ábra. Bibliometriai elemzés: a blockchain témájú publikációk kulcsszó-kapcsolatai
Forrás: Saját szerkesztés a Web of Science adatai alapján

Összesen öt klaszter különíthető el a kulcsszavak szempontjából, melyek más-más területeket különítenek el:

- Lila klaszter (blockchain és logisztika alapfogalmai): központi kulcsszavak a BCT, logisztika, ellátási láncok, koordináció, körforgásos gazdaság. Ez a csoport a blockchain technológia alapvető alkalmazásait hangsúlyozza a logisztikában és az ellátási láncban. A kulcsszavak közötti erős kapcsolatok jelzik, hogy a kutatások nagy része a blockchain logisztikai integrációjára fókuszál.
- Sötét kék klaszter (teljesítmény és menedzsment aspektusok): központi kulcsszavak az ellátáslánc-menedzsment, teljesítmény, hatás, e-kereskedelem mesterséges intelligencia. Ez a klaszter a blockchain hatását vizsgálja a teljesítményre, az e-kereskedelemre, valamint a mesterséges intelligenciával való összekapcsolódására. A hatás és a teljesítmény kulcsszavak erősen kapcsolódnak a menedzsment szempontokhoz.
- Barna klaszter (nyomonkövetés és rendszerszintű kihívások): központi kulcsszavak a nyomonkövethetőség, keretrendszer, fordított logisztika, szállítás, szisztematikus irodalmi áttekintés, kihívások. A klaszter a blockchain átláthatóságot és visszakövethetőséget erősítő funkcióját vizsgálja. Szoros kapcsolat mutatkozik a fenntartható logisztikai megoldásokkal fordított logisztika és a szállítás.
- Világos kék klaszter (technológiai háttér): központi kulcsszavak az ellátási lánc, rendszerek, információs technológia, internet. Ez a klaszter a blockchain és az információtechnológia kapcsolatát vizsgálja, különös tekintettel a technikai infrastruktúrára.
- Zöld klaszter (átláthatóság és elfogadás): kulcsszavak az átláthatóság, elfogadás. Ez egy kisebb klaszter, amelyben megfigyelhetők, hogy a kutatások egy része a technológia elfogadásával és a bizalom növelésével foglalkoznak.

4. Következtetés

A kutatásunk eredményeiből egyértelműen látható, hogy a blokklánc kiemelkedő szerepet játszik a logisztikai folyamatok modernizálásában és hatékonyságának növelésében. A vizsgált 32 tanulmány bibliometriai elemzése feltárta azt, hogy a legjelentősebb kutatási központok Angliában és Kínában működnek, ahol több, egymással is együttműködő kutatócsoport járul hozzá a tudományterület fejlődéséhez. Az együttműködési hálózatok és a kulcsszavak klaszterelemzése azt mutatja meg, hogy a blokklánc és logisztika témája több irányból közelíthető meg: a nyomon követhetőség, a teljesítmény és menedzsment, a technológiai háttér, az átláthatóság és az elfogadás mind kulcsfontosságú aspektusok. A blokklánc integrációja a logisztikai és ellátási lánc menedzsmentbe hosszú távon jelentősen hozzájárulhat a biztonság, az átláthatóság és a fenntarthatóság erősítéséhez, ugyanakkor a technológia gyakorlati alkalmazása még számos kihívást rejt, mint például a skálázhatóság vagy a szabályozási kérdések.

5. Összegzés

A blokklánc alkalmazása a logisztikában és az ellátási lánc menedzsmentben nem csupán egy ígéretes trend, hanem egy olyan fejlődési irány, amely hosszú távon meghatározó lehet a globális gazdaság számára. A kutatásunk rámutatott arra, hogy a technológia használata új lehetőségeket kínál a családok visszaszorításában, a költségek csökkentésében és a fenntarthatóság előmozdításában. A blokklánc jövőbeli elterjedése szoros összefüggésben áll az olyan kiegészítő technológiákkal, mint az IoT és a mesterséges intelligencia, amelyek integrációja új szintre emelheti a logisztikai rendszerek hatékonyságát. Bár a technológia széles körű alkalmazása előtt még technikai és szabályozási akadályok állnak, a vizsgált szakirodalom alapján egyértelmű, hogy a blokklánc képes alapjaiban átalakítani a logisztikai folyamatokat és hozzájárulni az ipar 4.0 célkitűzéseinek eléréséhez.

Irodalomjegyzék

- [1] Akhtar, MM., Rizvi, DR., Ahad, MA., Kanhere, SS., Amjad, M., Coviello, G. (2021). Efficient Data Communication Using Distributed Ledger Technology and IOTA-Enabled Internet of Things for a Future Machine-to-Machine Economy. *Sensors*, 21.0(13). <https://doi.org/10.3390/s21134354>
- [2] An, J., Gui, X., Zhang, W., Jiang, J., & Yang, J. (2013). Research on social relations cognitive model of mobile nodes in Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(2), 799-810. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2012.12.004>
- [3] Asadi, M., Zolfani, SH., Pamucar, D., Salimi, J., Saberi, S. (2023). The appropriation of blockchain implementation in the supply chain of SMES based on fuzzy LMAW. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 123.0 <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106169>
- [4] Ballamudi, K. R. (2016). Blockchain as a type of distributed ledger technology. *Asian Journal of Humanity, Art and Literature*, 3(2), 127-136.
- [5] Bracci, E., Tallaki, M., Ievoli, R., Diplotti, S. (2022). Knowledge, diffusion and interest in blockchain technology in SMEs. *Journal Of Knowledge Management*, 26.0(5), 1386-1407. <https://doi.org/10.1108/JKM-02-2021-0099>
- [6] Budak, A., & Çoban, V. (2021). Evaluation of the impact of blockchain technology on supply chain using cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 184, 115464. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115455>
- [7] Callefi, MHBM., Ganga, GMD., Godinho, M., Queiroz, MM., Reis, V., dos Reis, JGM. (2022). Technology-enabled capabilities in road freight transportation systems: A multimethod study. *Expert Systems With Applications*, 203.0. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117497>
- [8] Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., Stachtariis, S., Pagoni, M., & Rachaniotis, N. P. (2020). Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 59(19), 5758-5770. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1789238>
- [9] Chen, ZQ., Xiong, XR., Wang, W., Xiao, YL., Alfarraj, O. (2023). A Blockchain-Based Multi-Unmanned Aerial Vehicle Task Processing System for Situation Awareness and Real-Time Decision. *Sustainability*, 15.0(18) <https://doi.org/10.3390/su151813790>
- [10] Choudhury, S., Jayaprakash, P., Srinivas, S., Sowmya, S., Shah, TR., Abinaya, R. (2023). A blockchain platform for the truck freight marketplace in India. *Operations Management Research*, 16.0(2), 684-704. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00353-4>
- [11] Ciano, MP., Peron, M., Panza, L., Pozzi, R. (2025). Industry 4.0 technologies in support of circular Economy: A 10R-based integration framework. *Computers & Industrial Engineering*, 201.0 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.110867>
- [12] Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, 144, 17-39. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.07.017>
- [13] Cui, Y., Gaur, V., Liu, JC. (2024). Supply Chain Transparency and Blockchain Design. *Management Science*, 70.0(5), . <https://doi.org/10.1287/mnsc.2023.4851>
- [14] Ding, Y., Pei, ZY., Cao, CX. (2025). When two chains meet: Optimizing the design of blockchain-enabled supply chain networks. *Expert Systems With Applications*, 261.0 <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125481>
- [15] Ferdous, M. S., Chowdhury, M. J. M., & Hoque, M. A. (2021). A survey of consensus algorithms in public blockchain systems for crypto-currencies. *Journal of Network and Computer Applications*, 182, 103035. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103035>
- [16] Ghafoor W, Hasan A, Butt M, Wasim M (2025). Advancements and Transformative Applications of Blockchain Technology. *Journal of Engineering and Computational Intelligence Review*, 3(1), 36-51. <https://doi.org/10.71317/RJSA.003.06.0424>
- [17] Guan, P., Wood, LC., Wang, JX., Duong, LNK. (2024). Blockchain adoption in the port industry: a systematic literature review. *Cogent Business & Management*, 11.0(1) <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2431650>
- [18] Hamidoglu, A., Gül, OM., Kadry, SN. (2024). A game-theoretical approach for the adoption of government-supported blockchain application in the IoT-enabled agricultural supply chain. *INTERNET OF THINGS*, 26.0 <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101163>
- [19] Hopkins, JL. (2021). An investigation into emerging industry 4.0 technologies as drivers of supply chain innovation in Australia. *Computers In Industry*, 125.0 <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103323>
- [20] Huang, JT., Yan, XB. (2025). Blockchain Adoption Strategy in E-commerce Supply Chain with Competing Retailers. *Journal Of Systems Science And Systems Engineering* <https://doi.org/10.1007/s11518-025-5649-9>
- [21] Idrissi, Z. K., Lachgar, M., & Hrimech, H. (2024). Blockchain, IoT and AI in logistics and transportation: A systematic review. *Transport Economics and Management*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.team.2024.09.002>
- [22] Ju, S., Park, H., Son, S., Kim, H., Park, Y., Park, Y. (2024). Blockchain-Assisted Secure and Lightweight Authentication Scheme for Multi-Server Internet of Drones Environments. *Mathematics*, 12.0(24). <https://doi.org/10.3390/math12243965>
- [23] Jum'a, L. (2023). The role of blockchain-enabled supply chain applications in improving supply chain performance: the case of Jordanian manufacturing sector. *Management Research Review*, 46.0(10), 1315-1333. <https://doi.org/10.1108/MRR-04-2022-0298>
- [24] Karkouch, A., Mousannif, H., Al Moatassime, H., & Noel, T. (2016). Data quality in internet of things: A state-of-the-art survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 73, 57-81. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.08.002>

- [25] Kouhizadeh, M., Saberi, S., Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. **International Journal Of Production Economics**, 231.0. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>
- [26] Kumar, S., Lim, W.M., Sivarajah, U. *et al.* Artificial Intelligence and Blockchain Integration in Business: Trends from a Bibliometric-Content Analysis. *Inf Syst Front* 25, 871-896 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10279-0>
- [27] Li, Z., Kang, J., Yu, R., Ye, D., Deng, Q., & Zhang, Y. (2017). Consortium blockchain for secure energy trading in industrial internet of things. *IEEE transactions on industrial informatics*, 14(8), 3690-3700.
- [28] Liu, W., Shao, XF., Wu, CH., Qiao, P. (2021). A systematic literature review on applications of information and communication technologies and blockchain technologies for precision agriculture development. **Journal Of Cleaner Production**, 298.0. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126763>
- [29] Lobo, CR., Wicaksono, H., Valilai, OF. (2022). Implementation of Blockchain Technology to Enhance Last Mile Delivery Models with Sustainability Perspectives. **IFAC PAPERSONLINE**, 55.0(10), 3304-3309. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.123>
- [30] Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., d'Atri, G., & Forte, M. (2019). Blockchain-enabled supply chain: An experimental study. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.026>
- [31] Lustenberger, M., Malesevic, S., Spychiger, F. (2021). Ecosystem Readiness: Blockchain Adoption is Driven Externally. **Frontiers In Blockchain**, 4.0. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2021.720454>
- [32] Moumni, N., Chaabane, F., Drira, F., Boutaleb, Y. (2025). Secure and transparent energy management using blockchain and machine learning anomaly detection: A case study of the Ausgrid dataset. **Computers & Industrial Engineering** 203.0, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111040>
- [33] Mukherjee, AA., Singh, RK., Mishra, R., Bag, S. (2022). Application of blockchain technology for sustainability development in agricultural supply chain: justification framework. **Operations Management Research**, 15.0(1-2), 46-61. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00180-5>
- [34] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [35] Patel, N., Patel, D., Jadav, NK., Rathod, T., Tanwar, S., Pau, G., Sharma, G., Alqahtani, F., Tolba, A. (2024). Fuzzy-Enhanced Secure Messaging Framework for Smart Healthcare System. **IEEE ACCESS**, 12.0, 102977-102993. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3432662>
- [36] Philipp, R., Prause, G., Olaniyi, EO., Lemke, F. (2021). Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations. **Environmental And Climate Technologies**, 25.0(1), 650-665. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0049>
- [37] Powell, W., Foth, M., Cao, S., & Natanelov, V. (2022). Garbage in garbage out: The precarious link between IoT and blockchain in food supply chains. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100261>
- [38] Pratap, B., Singh, A., Mehra, PS. (2025). REHAS: Robust and Efficient Hyperelliptic Curve-Based Authentication Scheme for Drones. **Concurrency And Computation-Practice & Experience**, 37.0(3). <https://doi.org/10.1002/cpe.8333>
- [39] Priya, VD., Sundaram, M. (2024). Blockchain With Hierarchical Auto-Associative Polynomial Convolutional Neural Network Fostered Cryptography for Securing Image. **Transactions On Emerging Telecommunications Technologies**, 35.0(11). <https://doi.org/10.1002/ett.70013>
- [40] Ramachandran, GS., Tran, TTL., Jurdak, R. (2023). DeWS: Decentralized and Byzantine Fault-tolerant Web Services. **2023 Ieee International Conference On Blockchain And Cryptocurrency, ICBC**. <https://doi.org/10.1109/ICBC56567.2023.10174949>
- [41] Saha, A. S., Raut, R. D., Yadav, V. S., & Majumdar, A. (2022). Blockchain Changing the Outlook of the Sustainable Food Supply Chain to Achieve Net Zero? *Sustainability*, 14(24), 16916. <https://doi.org/10.3390/su142416916>
- [42] Santana, S., Ribeiro, A. (2022). Traceability Models and Traceability Systems to Accelerate the Transition to a Circular Economy: A Systematic Review. **SUSTAINABILITY**, 14.0(9). <https://doi.org/10.3390/su14095469>
- [43] Santhi, R. A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of blockchain technology in manufacturing supply chain and logistics. *Logistics*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.3390/logistics6010015>
- [44] Shi, XT., Chen, SR., Lai, XF. (2023). Blockchain adoption or contingent sourcing? Advancing food supply chain resilience in the post-pandemic era. **Frontiers Of Engineering Management**, 10.0(1), 107-120. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0232-2>
- [45] Shreya, S., Chatterjee, K., Singh, A. (2023). BFSF: A secure IoT based framework for smart farming using blockchain. **Sustainable Computing-Informatics & Systems**, 40.0. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100917>
- [46] Su, YS., Wang, JQ., Tu, SH., Liao, KT., Lin, CL. (2025). Detecting latent topics and trends in IoT and e-commerce using BERTopic modeling. **Internet Of Things**, 32.0. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101604>
- [47] Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*, 11(4), 1185. <https://doi.org/10.3390/su11041185>
- [48] Tripathi, G., Ahad, M. A., & Casalino, G. (2023). A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges. *Decision Analytics Journal*, 7, 100186. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100344>
- [49] Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002>

- [50] Xiao, JH., Ma, SY., Wang, SY., Huang, GQ. (2024). *Fine-grained digital twin sharing framework for smart construction through an incentive mechanism*. *International Journal Of Production Economics*, 276.0, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109382>
- [51] Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., & Chen, S. (2020). *Public and private blockchain in construction business process and information integration*. *Automation in Construction*, 118, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276>
- [52] Zhong, HL., Zhang, F., Gu, YM. (2021). *A Stackelberg game based two-stage framework to make decisions of freight rate for container shipping lines in the emerging blockchain-based market*. *Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review*, 149.0 <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102303>