

ПРИМЕНА БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈЕ И ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ИНДУСТРИЈИ 4.0

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRY 4.0

МИРОСЛАВ СТЕФАНОВИЋ¹

МАРКО ШТАКА²

ЂОРЂЕ ПРЖУЉ³

Прегледни рад

DOI: 10.5937/VI25073S

Резиме: Индустија 4.0 означава четврту индустријску револуцију, окарактерисану дигитализацијом, аутоматизацијом и интеграцијом напредних информационих технологија у производне процесе. У овом раду истражује се интеграција блокчејн технологија и вештачке интелигенције у Индустију 4.0, као савремених реметилачких технологија које су значајан развој доживеле након појаве Индустије 4.0. Рад приказује теоријски оквир, практичне примере, студије случаја, и анализира перспективе имплементације блокчејн технологије и вештачке интелигенције у Индустији 4.0.

Кључне речи: блокчејн, вештачка интелигенција, Индустија 4.0

Abstract: Industry 4.0 marks the fourth industrial revolution, characterized by digitization, automation, and the integration of advanced information technologies into manufacturing processes. This paper examines the integration of blockchain technologies and artificial intelligence into Industry 4.0, as modern disruptive technologies that have experienced significant development following the emergence of Industry 4.0. The paper presents a theoretical framework, practical examples, case studies, and analyzes the prospects for implementing blockchain technology and artificial intelligence in Industry 4.0.

Key Words: blockchain, artificial intelligence, Industry 4.0

¹ Мирослав Стефановић, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, mstef@uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0767-365X

² Марко Штака, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, marko.staka@uns.ac.rs, ORCID: 0009-0004-5557-9096

³ Ђорђе Пржуљ, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, przulj@uns.ac.rs, ORCID: 0000-0001-5951-563X

1. Увод

Прошло је више од 10 година од када се термин Индустрија 4.0 појавио по први пут као визија будућности и промена парадигме на коју ће највећи утицај имати напредна дигитализација фабрика, интернет технологије и технологије намењене „паметним“ објектима, попут машина и производа. Тада су као фундаментални концепти Индустрије 4.0 препознати:

- паметне фабрике,
- сајбер-физички системи,
- самоорганизација,
- нови системи у дистрибуцији набавкама,
- нови системи у развоју производа и услуга,
- прилагођавање људским потребама и
- корпоративна друштвена одговорност [1].

Технологије које су 2014. године препознате као покретачи Индустрије 4.0 су од тада доживеле значајан напредак, а неке технологије које су тада биле тек у зачетку данас су препознате као реметилачке технологије које ће имати значајан утицај на читав свет који нас окружује, па тако и на Индустрију 4.0. Када се говори о Индустрији 4.0, технологије које се често препознају као реметилачке су блокчејн технологија и вештачка интелигенција [2]. Блокчејн технологија настала је 2008. године, како би се креирао систем електронског новца подржан од стране чворова, али оно што се данас сматра реметилачком технологијом представља надоградњу овог система, односно такозвани блокчејн 2.0, чија прва имплементација се појавила 2015. године и представља појаву паметних уговора који се извршавају на блокчејн мрежи. Са друге стране, вештачка интелигенција не представља новину у свету информационих технологија, али је велики пробој направљен 2022. године са појавом ChatGPT-а. Управо ово је разлог за спровођење истраживања на који начин ове две технологије могу утицати на Индустрију 4.0.

Поред увода и закључка, у овом раду ће бити представљене основне карактеристике блокчејн технологије у поглављу 2, као и основне карактеристике вештачке интелигенције у поглављу 3, да би у поглављу 4 биле приказане неке од могућности примене блокчејн технологије у Индустрији 4.0, док ће у 5. поглављу исто бити учињено са применом вештачке интелигенције у Индустрији 4.0.

2. Блокчејн технологије

Блокчејн представља имплементацију дистрибуиране књиге трансакција у којој се трансакције чувају у ланцу блокова. Блокови се повезују један на други

и додају хронолошким редом на начин који чини веома мало вероватним да ти блокови могу бити измењени или фалсификовани [3]. Да би се то постигло, блокчејн се ослања на криптографске хеш (енг. *hash*) функције, асиметричну криптографију, кроз примену јавних и приватних кључева, и на дистрибуирани механизам консензуса [4]. Улога механизма консензуса у блокчејн мрежама је да омогући чворовима који се налазе у мрежи да се усагласе око јединственог стања мреже [5]. То значи да се нови блокови додају у ланац само када чворови спроведу исте прорачуне и добију исти резултат и када постигну консензус око тог резултата [6].

Главне предности блокчејн технологије су ефикасност, безбедност, отпорност и транспарентност. Чињеница да је могуће лако пратити и управљати сложеним записима података чини блокчејн технологију ефикасном. Систем је безбедан зато што је фалсификовање података готово немогуће, јер се подаци дистрибуирају између многих повезаних чворова. Дистрибуција података и чињеница да не постоји једна тачка отказа чине систем отпорним, а чињеница да је коришћење система подразумевано јавно чини га транспарентним за сваку заинтересовану страну [7].

Главне карактеристике блокчејн технологије су децентрализација, постојаност, анонимност и ревизабилност [4], [8], [9], [10], [11]. Децентрализација се постиже тако што сваки чвор може да управља трансакцијама и да их складишти. Информације о трансакцијама се размењују између свих чворова у мрежи, и на тај начин се елиминише потреба за постојањем треће стране од поверења [11]. Блокови се додају у ланац тако што се садржај претходног блока, преко хеш вредности блока, укључује у садржај наредног блока. На овај начин постиже се да сваки блок у ланцу учествује у стварању свог следбеника и формирају ланац блокова. Ово подразумева да би промена садржаја неког од претходних блокова, који је већ део блокчејна, поништила све хеш вредности следећих блокова [8]. На овај начин постиже се постојаност трансакција које су забележене у блокчејну. Нове трансакције могу бити додате у блокчејн, док је могућност брисања или ажурирања раније регистрованих трансакција веома мала [10].

Када се говори о анонимности, битно је напоменути да је једна од класификација блокчејн мрежа она која их дели на три категорије, и то: јавне неodobрене (енг. *public permissionless*) блокчејн мреже, конзорцијумске/хибридне/јавно одобрене (енг. *public permissioned*) блокчејн мреже и приватне блокчејн мреже [12]. Јавне блокчејн мреже су оне мреже код којих су све трансакције јавне и било ко може да се прикључи мрежи као чвор и учествује у процесу потврђивања трансакција [4], [10]. У конзорцијумским/хибридним/јавно одобреним блокчејн мрежама трансакције су такође јавне, али само

унапред одређени скуп чворова учествује у њиховој потврди. Приватне блокчејн мреже су мреже у којима само одабрани чворови могу да виде и учествују у процесу потврђивања трансакција [13], [14]. Имајући ову поделу у виду, анонимност је карактеристика јавних неодобрених и делимично конзорцијумских/хибридних/јавно одобрених блокчејн мрежа. У овим блокчејн мрежама заинтересоване стране могу учествовати као клијенти размењујући вредност или чак као чвор у јавно неодобреним мрежама, без потребе да открију свој идентитет, чиме се чува њихова анонимност.

У [15], Биткоин (енг. Bitcoin) је описан као peer-to-peer дистрибуирани сервер временских жигова, што значи да су све трансакције које се дешавају у блокчејн мрежи обележене временским жигом. Пошто је свака трансакција временски означена и пошто је фалсификовање веома мало вероватно, као што је раније наведено, заинтересована страна може претраживати блокчејн мрежу ради проналажења било које претходне трансакције, чиме блокчејн постаје ревизабилан[4], [8].

Биткоин блокчејн, који је креиран 2009. године, имао је ограничену област примене, али се са додатком паметних уговора, који представљају рачунарске програме који су кодирани и унети у блокчејн и чије извршавање подлеже истим правилима која важе и за блокчејн трансакције, домен могуће примене проширио, нарочито у областима државне управе, науке, интернета ствари и здравства [16], [17].

3. Вештачка интелигенција

Током претходних неколико деценија вештачка интелигенција је напредовала од теоријских концепата до једног од најзначајнијих технолошких праваца. Најзначајнији напредак направљен је у последњих десетак година. Напредак хардвера, доступност великих количина података, праћене иновацијама у пољу вештачке интелигенције, креирале су алате који имају могућност решавања великог броја различитих задатака.

Појава великих језичких модела (енг. large language models) довела је до огромног напретка у начину на који машине процесирају, генеришу и разумеју природни језик. Велики језички модели су модели са масивном величином параметара и изванредним могућностима учења [18]. Велики језички модели попут BERT, Claude, GPT-4.5, GPT-5.1, LLaMA-2 показали су одличне резултате у обрађивању природних језика [19]. Посебну пажњу у широкој друштвеној заједници привукао је ChatGPT, подстичући размишљања о снази великих језичких модела и њиховом потенцијалу да помере границе онога што вештачка интелигенција може да постигне. Ова реметилачка технологија

довела је до промене у начину на који комуницирамо са вештачком интелигенцијом и како је користимо у бројним областима, отварајући нове могућности и прилике за иновације [20].

Те прилике за иновацију довеле су до тога да је данас практично немогуће пронаћи област у којој се не врше истраживања везана за могућности примене вештачке интелигенције и за унапређења и иновације до којих њена примена може довести. Једноставним прегледом Web of Science за период од 2022. године до данас, може се пронаћи преко 10.000 радова који представљају систематске прегледе литературе (енг. artificial intelligence systematic review) на тему примене вештачке интелигенције у најразличитијим областима попут здравствене индустрије, образовања, финансија, управљања енергетским сектором, исхраном, безбедности у авио саобраћају, али и Индустрији 4.0.

4. Блокчејн технологија у Индустрији 4.0

Имајући у виду да се блокчејн 2.0 појавио 2015. године, доста брзо након тога, већ 2017. године, компаније су препознале потенцијал примене блокчејн технологије у Индустрији 4.0 кроз примену скалабилности, безбедности и аутономије, као и примену блокчејна као сервера за временску одредницу и почеле су да интегришу блокчејн концепте у своје производне процесе [21]. У [22] блокчејн је, уз сајбер-физичке системе, интернет ствари, велике количине података и вештачку интелигенцију, препознат као технологија која омогућава Индустрију 4.0. Подударане захтева који се постављају пред Индустрију 4.0 и основних карактеристика блокчејн технологије довело је до различитих примена. Детаљна таксономија примене блокчејн технологије у Индустрији 4.0 приказана је у [23]. Препознате су могућности примене у областима здравства, паметних градова, енергетских система, ланаца снабдевања и логистике, финансијског сектора, интернета ствари, производње, управљања дигиталним садржајима и пољопривреди.

У детаљном истраживању спроведеном у [24] у здравственој индустрији, могућности примене блокчејн технологије препознате су у области управљања електронским подацима, у биомедицинском истраживању и образовању, у анализи здравствених података, у удаљеном праћењу пацијената, у фармацеутским ланцима снабдевања и у захтевима везаним за здравствено осигурање. Разлози за избор блокчејн технологије били су контрола приступа подацима, интегритет података, чување података, управљање верзијама података и онемогућавање оповргавања.

У случају паметних градова, који представљају екосистем у којем су управљачки процеси засновани на подацима, аутоматизацији и дигиталној повезаности, како би се повећао квалитет живота, а све то применом интернета

ствари, вештачке интелигенције и анализе података, блокчејн технологија са свим својим карактеристикама има пресудну улогу у томе како паметни градови функционишу [25].

Примена блокчејн технологије у енергетским системима истраживана је у [26], где је препознато да су најзначајније могућности примене везане за иновацију и трансформацију енергетских тржишта, за дељење података и безбедност, за управљање паметним енергетским мрежама, за размену информација између мрежа и корисника и за успостављање реег-to-реег микро енергетских мрежа [26]. У [27] препознато је да се значајан број истраживала бави могућностима примене блокчејн технологије у области управљања ланцима снабдевања, док [28] наводи да су студије случаја показале да примена блокчејн технологије у управљању ланцима снабдевања може унапредити могућност праћења, транспарентности и аутентификације, који су идентификовани као значајни фактори система за управљање ланцима снабдевања [27].

И на крају овог поглавља, посебан осврт на могућности примене блокчејн технологије у производним системима. У [29] препознато је да блокчејн технологије могу унапредити ефикасност, оптимизовати пословне процесе и омогућити анализу података у реалном времену и бити покретач паметних операција.

5. Вештачка интелигенција и Индустрија 4.0

Примена вештачке интелигенције у Индустрији 4.0 доприноси продуктивности, ефикасности и аутоматизацији, али представља и једну од основа за развој аутономних система и робота, што за последицу има да доводи до великог нивоа аутоматизације производним системима [30]. У [31] идентификоване су неке од области примене вештачке интелигенције у Индустрији 4.0 и то паметна производња, одржавање, логистика и складиштење, контрола квалитета, управљање ланцима снабдевања и управљање енергијом.

Када се говори уопштено о примени вештачке интелигенције у Индустрији 4.0 у [32] препознато је да може доћи до решавања значајног броја проблема посебно везано за оптимизовану и робусну контролу аутоматизоване опреме, планирање одржавања, планирања производње, решавање проблема током процеса дизајнирања, контроле робота и интеракцију између човека и робота.

У [33] идентификовано је да вештачка интелигенција може довести до унапређења у процесу одржавања и то кроз могућност удаљеног праћења стања у производним системима, потом у доношењу одлука о системским поправкама и инвестицијама које су засноване на подацима и над којима није било спољних утицаја и да може довести до дужег рада система.

Истраживање о могућностима примене вештачке интелигенције у логистици спроведено је у [34] и препознат је допринос приликом оптимизације процеса оптимизације доношења одлука, унапређења употребе ресурса и унапређења различитих аспеката логистичких операција. Попут примене блокчејн технологије у управљању ланцима снабдевања, која је приказана у претходном поглављу, и вештачка интелигенција је препозната као технологија која може довести до унапређења. Као предности примене вештачке интелигенције у управљању ланцима снабдевања, препознате су: задовољство корисника, уштеде трошкова, унапређена ефикасност, смањивање људских грешака, управљање инвентаром, уштеда времена, управљање ризицима, управљање процесима и унапређени процеси одлучивања [35].

У претходна два поглавља представљен је само део могућности примене блокчејн технологије и вештачке интелигенције и Индустрији 4.0. Оно што се лако да приметити је да у одређеним областима постоје преклапања у примени, те је јасно да ове две технологије нису искључиве, већ да њихова заједничка примена у Индустрији 4.0 може имати ефекат синергије. Као илустрација, примена блокчејн технологије и вештачке интелигенције у управљању ланцима снабдевања истраживана је у [36], [37], [38], док су се истраживањем о примени ове две технологије у производним системима бавили у [39], [40].

6. Закључак

Индустрија 4.0 се у значајној мери ослања на доприносе и унапређења која долазе из развоја информационих технологија. У овом раду представљене су могућности примене блокчејн технологије и вештачке интелигенције у Индустрији 4.0, као две технологије које су направиле најзначајнији напредак након појављивања Индустрије 4.0. Несумњиво је да и ове две технологије могу значајно допринети даљем развоју Индустрије 4.0. Карактеристике блокчејн технологије показују најзначајније могућности примене у управљању ланцима снабдевања, али и у другом областима које могу имати користи од њених карактеристика. Са друге стране, готово је немогуће пронаћи област Индустрије 4.0 у којој вештачка интелигенција неће довести до одређеног унапређења, уз увек јасну свест да се посебна пажња мора посветити етици у вештачкој интелигенцији. Ово показује да интересовање за Индустрију 4.0 и даље постоји и да Индустрија 4.0 „прихвата“ и савремене информационе технологије које могу довести до напретка.

7. Литература

- [1] Lasi H, Fettke P, Kemper H, Feld T, Hoffmann M, Industry 4.0, *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239-242, 2014.

- [2] Choi T. M, Kumar S, Yue X, Chan H. L, Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond, *Production and Operations Management*, vol. 31, no. 1, 2022.
- [3] Lu Y, The blockchain: State-of-the-art and research challenges, *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 15, pp. 80–90, Sep. 2019.
- [4] Zheng Z, Xie S, Dai H. N, Chen X, Wang H, Blockchain challenges and opportunities: A survey, *International Journal of Web and Grid Services*, vol. 14, no. 4, pp. 352–375, 2018.
- [5] Aggarwal S, Kumar N, Chelliah P, Cryptographic consensus mechanisms. *Advances in Computers*, vol. 121, no. 4, pp. 211–226, 2021.
- [6] Huo R, Zeng Z, Wang J, Shang W, Chen T, Huang S, Wang R, Yu Y, Liu Y, A comprehensive survey on blockchain in industrial internet of things: Motivations, research progresses, and future challenges. *IEEE Communications Survey & Tutorials* vol. 24, no. 1, pp. 88–122, 2022.
- [7] Giancaspro M, Is a 'smart contract' really a smart idea? insights from a legal perspective. *Computer Law & Security Review*, vol. 33 no. 6, pp- 825–835, 2017
- [8] Dai H, Zheng Y, Zhang Y, Blockchain for internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, pp 8076–8094, 2019.
- [9] Huo R, Zeng Z, Wang J, Shang W, Chen T, Huang S, Wang R, Yu Y, Liu Y, A comprehensive survey on blockchain in industrial internet of things: Motivations, research progresses, and future challenges. *IEEE Communications Survey & Tutorials* vol. 24, no. 1, pp 88–122, 2022.
- [10] Politou E, Casino F, Alepis E, Patsakis C, Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 9, pp- 1082–1986, 2021.
- [11] Yang L, The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 15, pp. 80–90, 2019.
- [12] Woznica A, Kedziora M, Performance and scalability evaluation of a permissioned blockchain based on the hyperledger fabric, sawtooth and iroha, *Computer Science and Information Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 659–678, 2022.
- [13] Marjanovic J, Dalcekovic N, Sladic G, Blockchain-based model for tracking compliance with security requirements. *Computer Science and Information Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 359–380, 2023.
- [14] Wang S, Ouyang L, Yuan Y, Ni X, Han X, Wang F, Blockchain-enabled smart contracts: Architecture, applications, and future trends. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 49, no. 11, pp. 2266–2277, 2019.
- [15] Nakamoto S, Bitcoin: *A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (2009), accessed: 2024-11-10

- [16] Guido R, Mirabelli G, Palermo E, Solina V, A framework for food traceability: Case study–italian extra-virgin olive oil supply chain. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 11, no. 1, pp. 50–60, 2020.
- [17] Hassija V, Chamola V, Krishna D, Kumar N, Guizani M, A blockchain and edge-computing-based secure framework for government tender allocation. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 2409–2418, 2021.
- [18] Kasneci E, Sebler K, Kuchemann S, Bannert M, Dementieva D, Fischer F, Gasser U, Groh G, Gunnemann S, et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, vol. 103 2023.
- [19] Zhao H, Chen H, Yang F, Liu N, Deng H, Cai H, Wang S, Yin D, Du M, Explainability for Large Language Models: A Survey, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 1-38, 2024.
- [20] Chen J, Liu Z, Huang X, Wu C, Liu Q, Jiang G, Pu Y, Lei Y, Chen X, Wang X, Zheng K. Lian D., Chen E.: When large language models meet personalization: perspectives of challenges and opportunities, *World Wide Web-Internet and Web Information Systems*, vol. 27, no. 4, 2024.
- [21] Xua L. D, Xu E. L, Li L, Industry 4.0: state of the art and future trends, *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 8, pp 2941-2962. 2018.
- [22] Zheng T, Ardolino M, Bacchetti A, Perona M, The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review, *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 6, pp. 1922-1954, 2020
- [23] Bodkhei U, Tanwari S, Parekh K, PIMAL Khanpara P, Tyagi S, Kumar N, Alazab M, Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review, *IEEE Access*, vol.8, 79764-79800, 2020.
- [24] Elangovan D, Long C. S, Bakrin F. S, Tan C. S, Goh K. W, Yeoh S. F, Loy M. J, Hussain Z, Lee K. S, Che A, Ming L. C, The Use of Blockchain Technology in the Health Care Sector: Systematic Review, *JMIR Medical Informatics*, vol.10, no.1, 2022.
- [25] Kyriakidis I. N, Papastamatiou C. A, Patsis E. D, Yannakopoulos P, Voyiatzis I, Smart Cities Powered by Blockchain: Building the Foundation, *PCI '24: Proceedings of the 28th Pan-Hellenic Conference on Progress in Computing and Informatics*, pp 364 – 369
- [26] Ante L, Steinmetz F, Fiedler I, Blockchain and energy: A bibliometric analysis and review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, 2021.
- [27] Risso L. A, Ganga G. M. D, Filho M. G, de Santa-Eulalia L. A, Chikhi T, Mosconi E, Present and future perspectives of blockchain in supply chain management: a review of reviews and research agenda, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 179, 2023.

- [28] Sharabati A. A, Jreisat E. P, Blockchain Technology Implementation in Supply Chain Management: A Literature Review, *Sustainability*, vol. 16, no. 7, 2024.
- [29] Alazab M, Alhyari S, Industry 4.0 Innovation: A Systematic Literature Review on the Role of Blockchain Technology in Creating Smart and Sustainable Manufacturing Facilities, *Information*, vol. 15, no. 2, 2024
- [30] Pimsakul S, Samaranayake P, Laosirihongthong T, Prioritizing Enabling Factors of IoT Adoption for Sustainability in Supply Chain Management, *Sustainability*, vol. 13, no. 33, 2021.
- [31] Gabsi A, Integrating artificial intelligence in industry 4.0: insights, challenges, and future prospects-a literature review, *Annals of Operations Research*, vol. 341, no. 2-3, 2024.
- [32] Cerqueus A, Dolgui A, Ivanov D, Klimtchik A, Lemoine D, Pashkevich A, Applications of artificial intelligence in industry 4.0 and smart manufacturing, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 149, 2025.
- [33] Scaife A. D, Improve predictive maintenance through the application of artificial intelligence: A systematic review, *Results in Engineering*, vol. 21, 2024.
- [34] Chen W, Men Y, Fuster N, Osorio C, Juan A. A, Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainable Criteria: A Review, *Sustainability*, vol. 16, no. 21, 2024
- [35] Wamba S. F, Guthrie C, Queiroz M. M, Minner S, ChatGPT and generative artificial intelligence: an exploratory study of key benefits and challenges in operations and supply chain management, *International Journal of Production Research*, vol. 62, no. 16, 2024
- [36] Gupta S, Modgil S, Choi T. M, Kumar A, Antony J, Influences of artificial intelligence and blockchain technology on financial resilience of supply chains, *International Journal of Production Economics*, vol. 261, 2023.
- [37] Kim S. Y, Alzubi A. A, Blockchain and Artificial Intelligence for Ensuring the Authenticity of Organic Legume Products in Supply Chains, *Legume Research*, vol. 47, no. 7, 2024
- [38] Charles V, Emrouznejad A, Gherman T, A critical analysis of the integration of blockchain and artificial intelligence for supply chain, *Annals of Operations Research*, vol. 327, no. 1, pp: 7-47, 2023
- [39] Patel D, Sahu C. K, Rai R, Security in modern manufacturing systems: integrating blockchain in artificial intelligence-assisted manufacturing, *Intenational Journal of Production Research*, vol. 62, no. 3, pp. 1041-1071, 2023
- [40] Umer M. A, Belay E. G, Gouveia L. B, Fortifying Industry 4.0: Internet of Things Security in Cloud Manufacturing through Artificial Intelligence and Provenance Blockchain-A Thematic Literature Review, *Sci*, vol. 6, no. 3, 2024