# Provision of a Recommender Model for Performance Improvements for Blockchain in the Internet of Things with a Deep Reinforcement Learning Approach

**Elnaz Rabieinejad**
Master Student; K. N. Toosi University of Technology; Faculty of Industrial Engineering; Department of Information Technology; Tehran, Iran Email: elnazrabinezhad@email.kntu.ac.ir

**Shahriar Mohammadi***
Associate Professor; K. N. Toosi University of Technology; Faculty of Industrial Engineering; Department of Information Technology; Tehran, Iran Email: mohammadi@kntu.ac.ir

**Mahdi Yadegari**
PhD Student; K. N. Toosi University of Technology; Faculty of Industrial Engineering; Department of Information Technology; Tehran, Iran Email: myadegari@mail.kntu.ac.ir

Iranian Journal of Information Processing and Management

**Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc)**
ISSN 2251-8223
eISSN 2251-8231
Indexed by SCOPUS, ISC, & LISTA
Vol. 37 | No. 3 | pp. 695-720
Spring 2022
https://doi.org/10.35050/JIPM010.2022.974

**Received: 22, Feb. 2021** **Accepted: 23, Aug. 2021**

**Abstract:** With the advancement of human society and information and communication technology, the Internet of Things has penetrated into various aspects of the daily lives of people and industries. Emerging blockchain technology has become a viable solution to IoT security due to its inherent characteristics such as distribution, security, immutability, and traceability. However, the integration of IoT and blockchain has challenges such as latency, throughput, scalability, and device power limitation. Recent research has focused on the role of artificial intelligence methods in improving IoT performance in blockchain. According to the studies, there are few effects on improving the performance of IoT devices with limited power, so in this study, a conceptual model for improving blockchain performance in IoT devices with limited power by deep reinforcement learning is proposed. In this model, Internet devices with limited power can delegate their extraction task to the mobile edge computing layer. The presented model has six layers of perception, data, network, consensus, mobile edge computing and application which are explained in detail. In this model, to improve the throughput and select the mining method, a recommender located in the mobile edge computation layer is used. Recommender systems are adjusted by adjusting the size and time of

* Corresponding Author

building blocks to improve the throughput and also tries to minimize the delay and energy consumption of the mining operation by selecting suitable method. To achieve good performance in reinforcement learning, the use of Q learning and long-short term memory is suggested. The use of deep reinforcement learning is to set the block size by considering the transmission delay in order to increase throughput as well as mining with respect to the minimum delays, and energy consumption in the proposed conceptual model can improve the performance of blockchain in the IoT.

**Keywords:** Blockchain, Internet of Things, Reinforcement Learning, Q Learning, Long–Short Term Memory

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

# ارائهٔ مدل توصیه‌گر برای بهبود عملکرد بلاکچین در اینترنت اشیا با رویکرد یادگیری تقویتی عمیق

**الناز ربیعی‌نژاد**
دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ تهران، ایران؛
elnazrabinezhad@email.kntu.ac.ir

**شهریار محمدی**
دکتری مهندسی کامپیوتر؛ دانشیار؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ تهران، ایران؛
پدیدآور رابط mohammadi@kntu.ac.ir

**مهدی یادگاری**
دانشجوی دکتری مهندسی فناوری اطلاعات؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ تهران، ایران؛
myadegari@mail.kntu.ac.ir

پژوهش‌نامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات

**دریافت:** ۱۳۹۹/۱۲/۰۴ | **پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۶/۰۱ | مقاله برای اصلاح به مدت ۳۵ روز نزد پدیدآوران بوده است.

**چکیده:** با پیشرفت جامعهٔ بشری و فناوری اطلاعات و ارتباطات، اینترنت اشیا در ابعاد مختلف زندگی روزمرهٔ مردم و صنایع نفوذ کرده است. اینترنت اشیا با وجود تمامی تسهیلات، به‌دلیل ساختار ضعیف امنیتی تبدیل به یکی از اهداف هکرها شده است. فناوری نوظهور بلاکچین با توجه به ویژگی‌های ذاتی از قبیل توزیع‌شدگی، امنیت، تغییرناپذیری و قابل بررسی بودن تبدیل به راه‌حلی مناسب برای تأمین امنیت اینترنت اشیا شده است. با وجود این، ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین دارای چالش‌هایی مانند تأخیر، گذردهی، مقیاس‌پذیری و محدودیت توان دستگاه است. روش‌های یادگیری ماشین در حل مسائل پیچیده که برای انسان دشوار است، کارایی مناسبی از خود نشان داده و به همین دلیل، به‌تازگی به‌عنوان یکی از راه‌های حل چالش‌های بلاکچین در اینترنت اشیا مطرح شده‌اند. در این پژوهش برای بهبود چالش‌های بلاکچین در اینترنت اشیا یک مدل جدید مبتنی بر عامل توصیه‌گر ارائه داده‌ایم. هدف این مدل بهبود چالش گذردهی پایین بلاکچین در اینترنت اشیا و محدودیت منابع دستگاه‌های اینترنت اشیا برای استفاده از بلاکچین است. برای بهبود گذردهی عامل توصیه‌گر که از یادگیری تقویتی عمیق استفاده می‌کند، بلاک با تنظیم

نشریهٔ علمی | رتبهٔ بین‌المللی
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
(ایرانداک)
شاپا (چاپی) ۸۲۲۳-۲۲۵۱
شاپا (الکترونیکی) ۸۲۳۱-۲۲۵۱
نمایه در LISTA، ISC، و SCOPUS
jipm.irandoc.ac.ir
دورهٔ ۳۷ | شمارهٔ ۳ | ص‌ص ۶۹۵-۷۲۰
بهار ۱۴۰۱
https://doi.org/10.35050/JIPM010.2022.974

انـدازه و زمـانِ سـاخت می‌توانـد گذردهـی را بهبـود بخشـد. همچنیـن، عامـل توصیه‌گـر بـا دریافـت تـوان محاسـباتی دسـتگاه اینترنـت اشـیا و میـزان انـرژی مـورد نیـاز بـرای فراینـد اسـتخراج، رویکـرد بهینـه را از بیـن انجـام فراینـد اسـتخراج در دسـتگاه اینترنـت اشـیا و یـا واگـذاری بـه لایـهٔ لبـهٔ محاسـباتی انتخـاب می‌کنـد. رویکـرد بهینـه در ایـن پژوهـش رویکـردی اسـت کـه میـزان تأخیـر و انـرژی مصرفـی فراینـد اسـتخراج را کمینـه سـازد. در ایـن پژوهـش افـزون بـر ارائـهٔ معمـاری منطقـی، بـه گـردش کار عناصـر مـدل پیشـنهادی نیـز بـا جزئیـات پرداختـه شـده اسـت. طراحـی مـدل پیشـنهادی بـا اسـتفاده از روش اصـل واحـد بـرای حـل چالش‌هـای بلاکچیـن در اینترنـت اشـیا مـورد بررسـی قـرار گرفتـه و نقـاط ضعـف و قـوت مـدل بیـان شـده اسـت.

**کلیدواژه‌ها:** بلاکچین، اینترنت اشیا، گذردهی، عامل توصیه‌گر، یادگیری تقویتی عمیق

**۱. مقدمه**

اینترنـت اشـیا در بخش‌هـای مختلـف زندگـی روزمـرهٔ مـردم وارد شـده و تسـهیلات بسـیاری را بـرای ایـن بخش‌هـا فراهـم آورده اسـت (Yu et al. 2018). تکنولـوژی اینترنـت اشـیا بـا ایجـاد توانایـی در زمینـهٔ تبـادل و ارتبـاط بیـن دسـتگاه‌های مختلـف بـدون دخالـت انسـان، تسـهیلات بسـیاری را بـرای مـردم ایجـاد کـرده و امـکان تولیـد خلاقانـه، ارائـهٔ خدمـات مؤثرتـر و اسـتفادهٔ بهینـه از منابـع کمیـاب را فراهـم می‌آورد. امـا از آنجـا کـه اسـتفاده از اینترنت اشـیا به‌طور گسـترده موجـب اتصـال میلیاردهـا دسـتگاه در شـهرها، کشـورها و نهادهـای بین‌المللـی بـه شـبکهٔ جهانـی می‌شـود، نگرانی‌هایـی در خصـوص مسـائلی نظیـر امنیـت اطلاعـات وجـود خواهـد داشـت (زرگـر ۱۳۹۸). بـدون تردیـد، امنیـت یکـی از جنبه‌هـای کلیـدی اینترنـت اشیاسـت. چالش‌هـای امنیتـی فنـاوری اینترنـت اشـیا شـامل شناسـایی گره‌هـای جعلـی، احـراز هویـت، مدیریـت اعتمـاد، محرمانه‌بـودن داده‌هـا، امنیـت شـبکه و کنتـرل دسترسـی اسـت (Moin et al. 2019). لاکچیـن به‌دلیـل خصوصیـات ذاتـی از قبیـل امنیـت، تغییرناپذیـری، قابـل بررسـی و نظـارت بـودن گزینـهٔ مناسـبی بـرای ارتقـای امنیـت و حریـم شـخصی در اینترنـت اشیاسـت. ادغـام اینترنـت اشـیا و بلاکچیـن، به‌دلیـل حـذف واسـطه، صرفه‌جویـی قابـل توجهـی بـرای تولیدکننـدگان ایـن صنعـت بـه همـراه خواهـد داشـت. البتـه، بایـد ایـن نکتـه را در نظـر داشـت کـه ادغـام بلاکچیـن و اینترنـت اشـیا دارای چالش‌هایـی همچـون محدودیـت در تـوان و حافظـهٔ دسـتگاه‌های اینترنـت اشـیا، مقیاس‌پذیـری، تأخیـر و گذردهـی پاییـن اسـت (Dorri et al. 2019; Kumar and Mallick 2018).

هـوش مصنوعـی یکـی از راه‌حل‌هـای ارائه‌شـده بـرای حـل چالش‌هـای ادغـام بلاکچیـن و اینترنـت اشیاسـت و می‌توانـد بـا ایجـاد تعـادل بیـن پارامترهـای مختلـف باعـث عملکـرد بهتـر

آن‌ها شود (Jameel et al. 2020). یادگیری تقویتی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن عامل با یادگیری متوالی از طریق پاداشِ دریافت‌شده از نتیجهٔ عمل خود سیاست خود را تنظیم می‌کند. تکنیک‌های یادگیری تقویتی بر خلاف یادگیری نظارت‌شده و نیمه نظارت‌شده به‌طور معمول، به اطلاعات قبلی در مورد محیط نیاز ندارند و این ویژگی یادگیری تقویتی را برای استفاده در هوشمندسازی بلاکچین مناسب می‌سازد (همان).

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، گذردهی یکی از چالش‌های اتخاذ بلاکچین در اینترنت اشیاست. گذردهی، حداکثر تعداد تراکنش‌ها در هر ثانیه است که سیستم با آن سروکار دارد (Herrera-Joancomartí and Pérez-Solà 2016). با افزایش تعداد تراکنش‌هایی که در هر ثانیه مورد پردازش قرار می‌گیرد، گذردهی نیز افزایش می‌یابد. یک راه برای حل این چالش، افزایش تعداد تراکنش در هر بلاک و کاهش زمان ساخت بلاک است، اما این روش باعث افزایش زمان انتقال می‌شود؛ چون هر استخراج‌کننده باید اعتبار تمامی تراکنش‌ها در بلاک را بازبینی کند (Nguyen et al. 2020). به همین دلیل، از اهداف مهم این پژوهش ارائهٔ مدلی برای افزایش گذردهی با در نظر گرفتن تعادل بین گذردهی و تأخیر انتقال است. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن محدودیت منابع، ادغام دستگاه‌های اینترنت اشیا به مراتب متفاوت‌تر از حالتی خواهد بود که به‌صورت نظری محدودیتی برای منابع وجود نداشته باشد. تحقیقات پیش از این نیز بیانگر آن است که مدل و ساختاری که همزمان پاسخگوی هر دو حالت باشد، وجود ندارد (Xiong et al. 2020). به همین دلیل، نیاز است که مدلی وجود داشته باشد که برای تمام دستگاه‌های اینترنت اشیا قابل استفاده بوده و محدودیتی برایشان ایجاد نکند.

در این پژوهش مدلی جدید پیشنهاد می‌شود که در آن عامل توصیه‌گر با استفاده از یادگیری تقویتی عمیق[1] اندازه و زمان مناسب ساخت بلاک در جهت افزایش گذردهی و همچنین رویکرد بهینهٔ انجام وظایف استخراج توسط استخراج‌کننده را تعیین می‌کند. در این مدل هر استخراج‌کننده با توجه به توان محاسباتی‌اش می‌تواند وظایف استخراج را خودش انجام دهد و یا این‌که آن را به لایهٔ محاسبات لبهٔ موبایل واگذار کند. منظور از رویکرد بهینه از این مورد عملی است که در طولانی‌مدت تأخیر و انرژی مصرفی فرایند انجام استخراج را کمینه سازد. از سوی دیگر، در سیستم بلاکچین اندازه و زمان

1. reinforcement learning

ساخت بلاک طوری تنظیم می‌شود که افزون بر بالا بودن گذردهی، تأخیر انتقال از میزان آستانهٔ در نظر گرفته‌شده، تجاوز نکند. در یادگیری تقویتی عمیق از ادغام دو روش یادگیری «کیو»[1] وشبکهٔ عصبی بازگشتی[2] استفاده می‌شود. برای ارزیابی مدل پیشنهادی نیز از تئوری طراحی اصل واحد[3] استفاده می‌شود. این نظریه برای بررسی دقیق ارتباط بین نیازمندی‌های عملکردی اینترنت اشیا و راه‌های ارائه‌شده توسط مدل پیشنهادی است (Viriyasitavat et al. 2019).

ساختار پژوهش به این شرح است: ابتدا در بخش مقدمه، اهداف و اهمیت موضوع پژوهش ذکر شده است. در بخش ۲، به مفاهیم پرداخته شده است. مروری بر ادبیات موضوع در بخش ۳، آورده شده است. در بخش ۴، به ارائهٔ مدل پیشنهادی و نحوهٔ کار آن پرداخته می‌شود. بخش ۵، مدل ارائه‌شده را ارزیابی می‌کند و سرانجام، بخش ۶، به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲. مفاهیم پژوهش

در این بخش به بررسی مفاهیم اصلی پژوهش خواهیم پرداخت. شفاف‌سازی هر یک از این مفاهیم اصلی، تسهیلِ درکِ مدل پیشنهادی و ادغام آن‌ها را در پی خواهد داشت.

### ۲-۱. یادگیری تقویتی عمیق

یادگیری تقویتی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن عامل با یادگیری متوالی از طریق پاداش دریافت‌شده از نتیجهٔ عمل خود، سیاست خود را تنظیم می‌کند. به‌طور دقیق‌تر، تکنیک‌های یادگیری تقویتی می‌توانند بر اساس فرایند تصمیم‌گیری «مارکوف»[4] باشند که از یک محیط و مجموعه‌ای از عوامل تشکیل شده است. فرایند تصمیم‌گیری «مارکوف» از مفاهیمی شامل حالت، که توصیف‌کنندهٔ وضعیت فعلی عامل است، عملی که باعث حرکت عامل بین حالات می‌شود و پاداش مشاهده‌شده از انتقال حرکت عامل بین حالات، استفاده می‌کند (Garcia and Rachelson 2013).

زمانی که عامل، حرکتی را انجام می‌دهد و پاداشی را دریافت می‌کند، به حالت

1. Q learning
2. recurrent neural network
3. axiomatic design theory
4. Markov decision process

جدیدی می‌رود. در واقع، عامل در بلندمدت با انجام حرکت‌های معنادار به هدف خود می‌رسد و سپس، با استفاده از بازخورد برای هر حرکت در بلندمدت، خروجی را بهبود می‌دهد. بر خلاف رویکردهای تحت نظارت و نیمه‌نظارت، تکنیک‌های یادگیری تقویتی به‌طور معمول، به داده‌های دارای برچسب یا اطلاعات قبلی در مورد محیط نیاز ندارند. این ویژگی یادگیری تقویتی را برای فناوری بلاکچین مناسب می‌سازد (Jameel et al. 2020). یادگیری «کیو» شناخته‌شده‌ترین روش یادگیری تقویتی است که در آن عامل بر اساس مقادیر موجود در جدول «کیو» عمل می‌کند. چهار مؤلفهٔ اصلی در شبکهٔ «کیو» شامل مجموعهٔ حالات، مجموعهٔ فعالیت‌ها، پاداش، و احتمال انتقال است. عامل برای هر حالت، فعالیتی را بر اساس سیاست از پیش تعیین‌شده اجرا می‌کند. عامل، سیاستی را اتخاذ می‌کند که مقدار ارزش «کیو» را بیشینه کند. پس از هر دور، عامل برای تخمین دقیق‌تر مقدار «کیو» و اتخاذ دقیق‌تر سیاست‌ها، جدول «کیو» را اصلاح می‌کند (Jameel et al. 2020). در روش یادگیری «کیو» از یک جدول دوبعدی برای ذخیرهٔ حالات و اعمال استفاده می‌شود، در حالی که در فضای بزرگ‌تر با حالات و اعمال بیشتر امکان استفاده از یک جدول دوبعدی وجود ندارد و کارایی لازم را نخواهد داشت. برای حل این چالش از یادگیری تقویتی عمیق استفاده می‌کنیم که به‌جای استفاده از جدول «کیو»، از شبکهٔ عصبی عمیق برای تخمین تابع ارزش «کیو» استفاده می‌شود (Jameel et al. 2020).

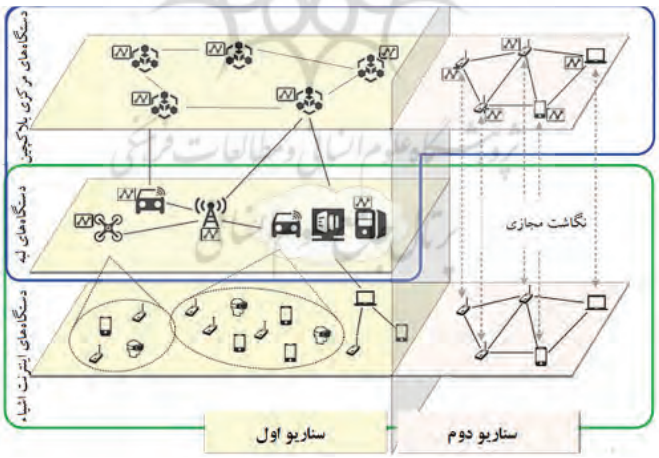
### ۲-۲. ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین

میزان استفاده از دستگاه‌های اینترنت اشیا رو به افزایش است و این موضوع چالش‌های بیشتری را در زمینه‌های امنیت، حریم شخصی، مقیاس‌پذیری و غیره ایجاد می‌کند. این دستگاه‌ها اطلاعات را در یک محیط متمرکز جمع‌آوری و نگهداری می‌کنند، اما استفاده از سِرور متمرکز برای دستگاه‌های اینترنت اشیا در مقیاس بزرگ کارایی ندارد و برای پردازش داده‌ها در مقیاس بالا به افزایش زیرساخت‌های اینترنت نیاز هست. یکی از بهترین راه‌حل‌های این مشکل، استفاده از شبکهٔ توزیع شده است که از توابع «شبکهٔ همتابه‌همتا»، «اشتراک‌گذاری پروندهٔ توزیع‌شده»[1] و «هماهنگی دستگاه‌های مستقل»[2] استفاده می‌کند. بلاکچین این سه عملکرد را پشتیبانی می‌کند و با ایجاد قابلیت‌هایی همچون امکان ردیابی

1. distributed file sharing
2. autonomous device coordination

دستگاه‌های اینترنت اشیا، افزایش حریم شخصی و قابلیت اطمینان، تسریع انتقال پیام بین اعضای شبکهٔ همتابه‌همتا توسط دفتر کل توزیع‌شده، ثبت داده‌های تاریخی، تغییرناپذیری داده‌ها می‌تواند نقش مهمی در مدیریت، کنترل و ایجاد امنیت در سیستم‌های اینترنت اشیا داشته باشد (Kumar and Mallick 2018).

دو سناریو برای ترکیب بلاکچین با اینترنت اشیا وجود دارد. در سناریوی اول، دستگاه‌های اینترنت اشیا به‌صورت مستقیم امکان شرکت در بلاکچین را ندارند و باید درخواست‌های خود را از طریق نقاط دسترسی به دستگاه‌های توان بالا که عضوی از بلاکچین هستند، ارسال کنند. در این حالت، نیازی به انجام وظایف سنگین محاسباتی و همچنین، حافظهٔ بالا برای ذخیره‌سازی در بلاکچین وجود ندارد. در سناریوی دوم، این دستگاه‌ها عضوی از شبکهٔ بلاکچین هستند و به‌صورت مستقیم می‌توانند با بلاکچین تعامل داشته باشند. سناریوی اول برای اینترنت اشیا با توان و حافظهٔ محدود مناسب‌تر است. با وجود این، ارسال درخواست و دریافت پاسخ از یک دستگاه به دستگاه دیگر در اینترنت اشیا، هم مصرف بیشتر انرژی و هم تأخیر را در پی دارد (Nguyen et al. 2020). به همین دلیل، برای دستگاه‌هایی که محدودیتی در منابع ندارند، سناریوی دوم بهینه است. شکل ۱، این دو سناریو را نشان می‌دهد.




**شکل ۱. سناریوهای ادغام اینترنت اشیا با بلاکچین (Xiong et al. 2020)**

به‌رغم امتیازهای بلاکچین در بهبود مشکلات امنیتی اینترنت اشیا، ادغام این دو تکنولوژی دارای چالش‌هایی شامل محدودیت توان و حافظه در دستگاه‌های اینترنت اشیا،

مقیاس‌پذیری، گذردهی، تأخیر، حفظ همزمان حریم شخصی و شفافیت و امکان سرایت حملات بلاکچین به اینترنت اشیاست (Kumar and Mallick 2018; Mohanty et al. 2020; Dorri et al. 2019).

### ۳-۲. یادگیری تقویتی عمیق برای بلاکچین در اینترنت اشیا

بلاکچین شامل پارامترهای مختلفی مانند امنیت، کارایی، توزیع‌شدگی و پارامترهای بسیار دیگر است که باید بین آن‌ها سازگاری برقرار کند. هوش مصنوعی می‌تواند این عمل را تسهیل کند و باعث خودکارسازی و عملکرد بهتر بلاکچین شود. هوش مصنوعی همچنین، می‌تواند با پیش‌بینی حملات و تشخیص رفتارهای ناهنجار امنیت بلاکچین را ارتقا دهد (Dinh and Thai 2018). هوش مصنوعی می‌تواند با ایجاد مسیرهای بهتر اشتراک‌گذاری فایل‌ها، زمان رسیدن به اجماع را بهبود داده (Tanwar et al. 2019) و با افزایش سرعت پردازش فرایندهای سیستم بلاکچین کارایی را افزایش بخشد (Kshetri 2019).

یکی از راه‌حل‌ها برای رفع چالش‌های موجود در ترکیب اینترنت اشیا و بلاکچین، هوش مصنوعی است. هوش مصنوعی توانایی تعیین اصول بهتر طراحی برنامه را دارد و می‌تواند با تنظیم پارامترهایی که برای انسان دشوار است، چالش‌های ادغام دو فناوری بلاکچین و اینترنت اشیا را بهبود دهد (Jameel et al. 2020). همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، یادگیری تقویتی نیازی به اطلاعات قبلی از محیط ندارد و به همین دلیل، برای استفاده در بلاکچین و بهبود آن مناسب‌تر از سایر روش‌های هوش مصنوعی است (همان). جدول ۱، به بررسی مزایا و چالش‌های استفاده از یادگیری تقویتی در اینترنت اشیا مبتنی بر بلاکچین می‌پردازد.

**جدول ۱. مزایا و چالش‌های یادگیری تقویتی برای بلاکچین در اینترنت اشیا (Jameel et al. 2020)**

| مزایا | چالش‌ها |
|---|---|
| کاهش پدیدهٔ فورک | دستگاه‌های اینترنت اشیا با توان و حافظهٔ محدود |
| افزایش گذردهی تراکنش‌ها | مشکل مقیاس‌پذیری |
| افزایش امنیت | انتخاب روش مناسب یادگیری تقویتی |
| افزایش کارایی | استقلال روش‌های یادگیری تقویتی از بلاکچین |
| کاهش زمان ساخت و تأیید بلاک | |

### ۳. مروری بر آثار پیشین

بلاکچین و هوش مصنوعی از قابلیت کاملکنندگی بسیار زیادی برخوردار هستند که می‌توانند تأثیرات چشمگیری بر عملکرد صنایع و بازار داشته باشند (Kshetri 2019). ترکیب این دو فناوری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و باعث ایجاد دو بخش هوش مصنوعی برای ارتقای عملکرد بلاکچین و بلاکچین برای بهبود عملکرد هوش مصنوعی شده است. با توجه به ماهیت پژوهش که درصدد بهبود اتخاذ بلاکچین در اینترنت اشیاست، آثار مرتبط با ترکیب هوش مصنوعی برای ارتقای عملکرد بلاکچین در محیط اینترنت اشیا را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این راستا «سینق، راتور و پارک» یک معماری هوشمند با ترکیب هوش مصنوعی و بلاکچین برای اینترنت اشیا پیشنهاد داده‌اند. این معماری از چهار لایهٔ هوش دستگاه، هوش لبه، هوش مه، و هوش ابر تشکیل شده است که در تمامی این لایه‌ها از بلاکچین به‌منظور ایجاد بستری امن با حفظ حریم شخصی و از هوش مصنوعی برای خودکارسازی، تحلیل در هر لایه استفاده شده است (Singh, Rathore & Park 2020). در پژوهشی دیگر Xiong et al. (2020) با استفاده از یادگیری تقویتی عمیق نرخ انتقال‌های موفقِ درخواست‌های اینترنت اشیا به بلاکچین را افزایش می‌دهد. همچنین، Liu et al. (2019) با استفاده از یادگیری تقویتی عمیق به بهبود مقیاس‌پذیری در بلاکچین با در نظر گرفتن تأخیر، توزیع‌شدگی و امنیت در اینترنت اشیای صنعتی توسط یادگیری پرداخته‌اند.

یادگیری تقویتی می‌تواند تأثیر شایانی در افزایش امنیت در بلاکچین داشته باشد (Rathore, Kwon & Park 2019). یک معماری امنیتی غیرمتمرکز مبتنی بر شبکهٔ تعریف‌شده توسط نرم‌افزار، محاسبات مه و بلاکچین و یک مکانیزم تشخیص حملات در اینترنت اشیا را توسط یادگیری عمیق ارائه می‌دهد. Alkadi et al. (2020) یک سیستم کشف نفوذ مشارکتی بر اساس چارچوب بلاکچین و یادگیری عمیق برای ایجاد امنیت و حریم شخصی در اینترنت اشیا ارائه می‌دهند. در انتها به پژوهش «تنوار» و همکارانش اشاره می‌کنیم که به بررسی و طبقه‌بندی دقیق روش‌های به‌کارگیری یادگیری ماشین برای بلاکچین از منظرهای مختلف شامل مبتنی بر هدف، مبتنی بر لایه، مبتنی بر اقدام متقابل و مبتنی بر اپلیکیشن‌های هوشمند می‌پردازند و از یادگیری ماشین برای مقاوم‌تر ساختن برنامه‌های کاربردی هوشمند مبتنی بر بلاکچین استفاده می‌کنند Tanwar et al. (2019).

### ٤. مدل پیشنهادی

در این پژوهش یک مدل نوین برای بهبود گذردهی بلاکچین در اینترنت اشیا و همچنین، محدودیت توان و انرژی اینترنت اشیا در استفاده از بلاکچین ارائه می‌دهیم. این مدل با استفاده از یک عامل توصیه‌گر می‌تواند به‌صورت پویا بهترین عمل را اتخاذ کند تا باعث افزایش کارایی سیستم شود. در واقع، عامل توصیه‌گر برای بهبود گذردهی اندازهٔ بلاک و زمان ساخت بلاک را در هر مرحله تنظیم می‌کند و همچنین، در زمان شروع فرایند استخراج با در نظر گرفتن میزان انرژی محاسباتی دستگاه اینترنت اشیا، میزان انرژی مورد نیاز، رویکرد بهینهٔ انجام فرایند استخراج را اتخاذ می‌کند. رویکرد بهینه در اینجا رویکردی است که میزان انرژی و تأخیر در فرایند استخراج را کمینه سازد. عامل توصیه‌گر از یادگیری تقویتی عمیق استفاده می‌کند که با روش یادگیری «کیو» توسط یک شبکهٔ عصبی بازگشتی تجهیز شده است.

محیط مورد نظر ما فضایی است که از نظر جغرافیایی محدود است، ولی دربرگیرندهٔ واحدها یا ساختمان‌های مجاورش است. فضای در نظر گرفته‌شده برای مدل را می‌توان مانند یک ساختمان هوشمند دانست که از چندین واحد جداگانه تشکیل شده است و یا یک پردیس دانشگاهی که دربرگیرندهٔ ساختمان‌های مجاورش است، ولی مدیریت یکسانی دارند. اشیا در محیط مورد نظر ما دستگاه‌های هوشمند مختلف هستند، ولی در تعداد محدودی موجودند. اشیای هوشمند در این محیط صرفاً از وسایل صنعتی و توان بالا تشکیل نشده‌اند و می‌توانند ابزار هوشمند با توان و حافظهٔ پایین، همچون تلفن همراهِ هوشمند نیز باشند که اجرای بلاکچین به‌دلیل توان پایین برایشان مقدور نیست. در لایهٔ محاسباتی لبهٔ موبایل از یادگیری تقویتی عمیق برای تنظیم سیاست‌ها در هر مرحله با هدف افزایش گذردهی در بلاکچین و کمینه‌شدن تأخیر و انرژی مصرفی در انجام فرایند استخراج استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی توانایی استفاده در تمامی انواع دستگاه‌ها (با محدودیت و بدون محدودیت در توان محاسباتی) را داراست، زیرا دستگاه‌های اینترنت اشیا با منابع محدود می‌توانند وظایف محاسباتی خود را به لایهٔ لبهٔ محاسباتی واگذار کنند و دستگاه‌های بدون محدودیت می‌توانند خودشان وظایفشان را انجام دهند. در ادامه، لایه‌های منطقی مدل پیشنهادی، فرایند کار، و نحوهٔ کارِ عاملِ توصیه‌گر بیان می‌شوند.

**۴-۱. لایه‌های منطقی مدل پیشنهادی**

شکل ۲، لایه‌های منطقی مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ مدل به شرح زیر هستند:

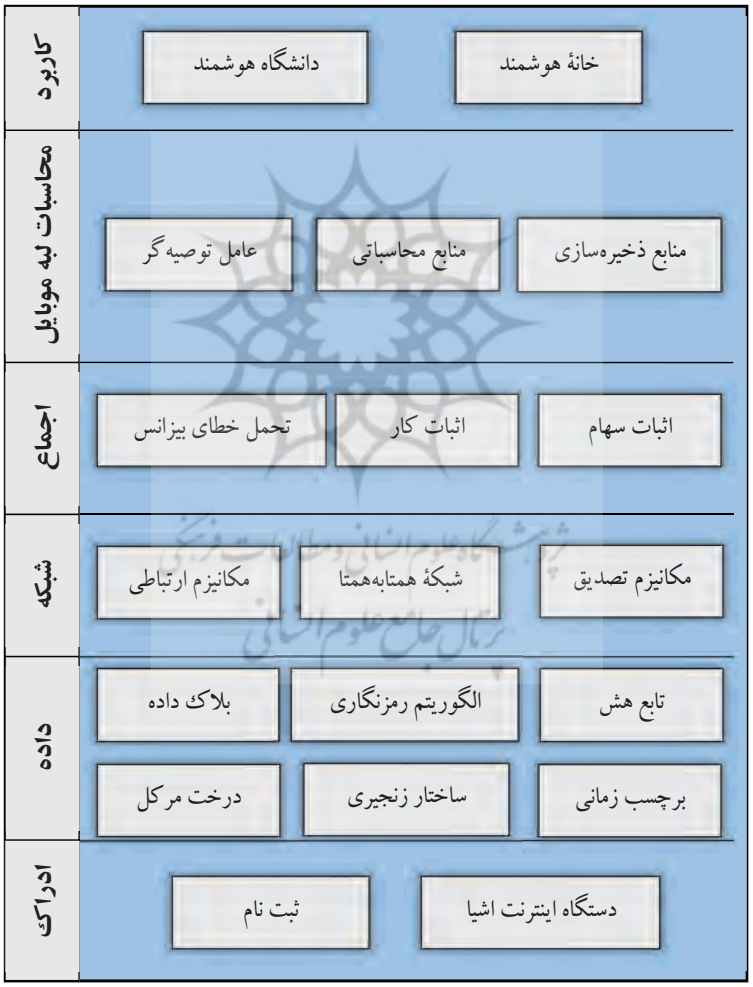
لایهٔ ادراک: این لایه شامل تمامی دستگاه‌های اینترنت اشیاست. به‌دلیل استفاده از بلاکچین خصوصی نیاز است دستگاه‌های اینترنت اشیا برای تعامل با بلاکچین ابتدا در آن ثبت‌نام کنند (Khalid et al. 2020). برای دسترسی سایر دستگاه‌های اینترنت اشیای عضوِ در بلاکچین به کلید عمومی دستگاه جدید، پس از ثبت‌نام دستگاه جدید در شبکه بلاکچین، کلید عمومی دستگاه جدید برای دسترسی سایر اعضای شبکهٔ بلاکچین در دفترکل ثبت می‌شود.

لایهٔ داده: لایهٔ داده به‌طور عمده شامل تراکنش‌ها و بلاک‌های داده است. هر بلاک شامل تعدادی تراکنش است که به بلاک قبلی مرتبط است. بلاک شامل دو بخش است: سرتیتر بلاک و داده‌های اصلی. سرتیتر بلاک فراداده[1] را مشخص می‌کند که شامل نسخهٔ بلاک، هش بلاک‌های قبلی و فعلی، برچسب زمانی و ریشهٔ «درخت مرکل»[2] و اطلاعات دیگر است. نسخهٔ بلاک نشان‌دهندهٔ نسخهٔ بلاکچین و پروتکل مربوط به آن است. با استفاده از هش بلاک قبلی، تمامی بلاک‌ها همچون زنجیر به هم متصل می‌شوند. در انتها زمان ساخت بلاک در برچسب زمانی ثبت می‌شود (Liu et al. 2020). در هر بلاک، تمام تراکنش‌ها با استفاده از الگوریتم هش به‌صورت جداگانه هش می‌شوند. این مقادیر هش سپس، به‌صورت جفتی ترکیب شده و دوباره تا زمانی که یک مقدار هش منفرد به‌دست آید، هش می‌شود. این مقدار به‌عنوان مقدار هش ریشهٔ درخت مرکل شناخته می‌شود. با استفاده از مقدار هش ریشهٔ درخت مرکل، تمام تراکنش‌های ثبت‌شده در بلاک به‌راحتی و به‌سرعت قابل بررسی است. داده‌های اصلی هر بلاک نیز شامل تمامی تراکنش‌های موجود در آن است. داده‌های موجود در این لایه توسط تابع هش و الگوریتم رمزنگاری نامتقارن رمزنگاری می‌شوند (Villegas-Ch, Palacios-Pacheco & Román-Cañizares 2020).

لایهٔ شبکه: این لایه شامل ساختار ارتباطی، شبکهٔ همتابه‌همتا و مکانیسم تصدیق است. دستگاه‌های اینترنت اشیا از مکانیسم‌های ارتباطی مختلفی برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند. زیرساخت ارتباطی اساس انتقال بلاک داده و ارتباط اعضا در شبکهٔ همتابه‌همتاست.

1. metadata
2. Merkle tree

در شبکهٔ همتابه‌همتا گره‌ها توسط ارتباطات باسیم و بی‌سیم متصل می‌شوند و امکان انتشار بلاک بین گره‌های سازندهٔ بلاکچین فراهم می‌شود. هر گره وظیفهٔ بررسی صحت گرهِ دریافتی و انتشار آن به گره‌های همسایه را بر عهده دارد. یک گره به‌سادگی یک بلاک تراکنش را به سایر اعضای شبکهٔ بلاکچین ارسال می‌کند و تصدیق آن را انجام می‌دهد. هر گره در شبکهٔ همتابه‌همتا توسط چک کردن درستیِ شمارهٔ بلاک، اعتبار تراکنش‌های بلاک، اعتبار بلاک قبلی و هش بلاک، و درستیِ بلاک تولیدشده را بررسی می‌کند و در صورت تأیید به بلاکچین اضافه می‌شود (Ismail, Materwala & Zeadally 2019).




**شکل ۲. لایه‌های منطقی مدل پیشنهادی**

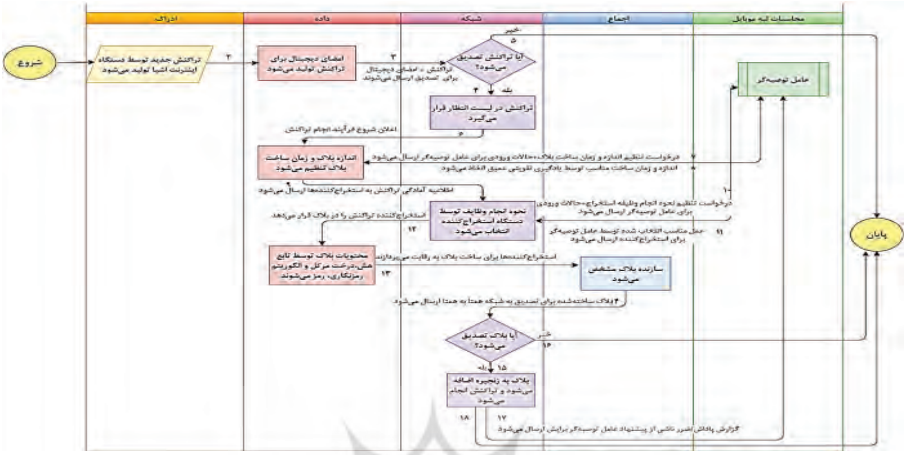
لایهٔ اجماع: اجماع، پایه و اساس بلاکچین است و مکانیسمی برای اعتماد به داده‌های مورد استفاده است. این لایه مسئول ایجاد یک توافق توزیع‌شده برای درستی و صحت یک بلاک داده است. اجماع از طریق الگوریتم‌های مختلف اثبات کار، اثبات سهام، تحمل خطای بیزانس و غیره می‌تواند حاصل شود. هر بلاکچین باید مکانیسم اجماعی داشته باشد که طبق آن به گره‌هایی که در اجرای الگوریتم اجماع مشارکت کردند، پاداش دهد. گره‌ها بدون پاداش، انگیزهٔ لازم را برای تأیید بلاک‌هایی که متعلق به آن‌ها نیست، ندارند (Dwivedi et al. 2019). در مدل پیشنهادی برای فرایند تأیید اعتبار پاداشی تعلق نمی‌گیرد، زیرا تمامی این فرایندها بخشی از فرایند کاری یک شرکت است و تمامی این دستگاه‌ها نیز از اعضای داخلی شرکت هستند (Villegas-Ch, Palacios-Pacheco, and Román-Cañizares 2020).

لایهٔ محاسبات لبهٔ موبایل: این لایه شامل منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی است. در صورتی که هر کدام از دستگاه‌های اینترنت اشیا توان و حافظهٔ محاسباتی مورد نیاز برای انجام عملیات بلاکچین را نداشته باشند، می‌توانند با استفاده از منابع درون این لایه وظایف را انجام دهند (Nguyen et al. 2020). این لایه همچنین، شامل یک عامل توصیه‌گر است که با دریافت داده‌ها و استفاده از یادگیری تقویتی عمیق می‌تواند اندازه و زمان ساخت بلاک در جهت افزایش گذردهی و همچنین، تصمیم مناسب در مورد واگذاری یا اجرای محلی وظایف استخراج به‌منظور کمینه ساختن تأخیر و انرژی مصرفی را اتخاذ کند.

لایهٔ کاربرد: مدل پیشنهادی در این لایه توسط لایه‌های زیرین در صنایع مختلف قابل استفاده است. از جملهٔ این خدمات می‌توان به خانه‌های هوشمند، دانشگاه هوشمند، و سلامت هوشمند اشاره کرد.

### ٤-٢. فرایند کار مدل پیشنهادی

فرایند کار مدل پیشنهادی مطابق شکل ۳، به‌شرح زیر است:




**شکل ۳. مراحل کار مدل پیشنهادی**

۱. درخواست جدیدی در دستگاه اینترنت اشیا ایجاد می‌شود.

۲. تراکنش توسط تابع هش، هش می‌شود و سپس، کلید خصوصی دستگاه اینترنت اشیا روی آن اعمال می‌شود تا امضای دیجیتال تشکیل شود.

۳. تراکنش به همراه امضای دیجیتال برای تصدیق در شبکهٔ همتابه‌همتا منتشر می‌شود. هر یک از اعضای شبکهٔ همتابه‌همتا با استفاده از کلید عمومی دستگاه تراکنش رمزنگاری‌شده را رمزگشایی کرده و سپس، آن را با هش تراکنش دریافتی مقایسه می‌کند. توسط این کار از یکپارچگی تراکنش و اعتبار دستگاه تولیدکننده اطمینان حاصل می‌شود.

۴. تراکنش توسط اعضای شبکهٔ همتابه‌همتا تصدیق می‌شود و به‌منظور انجام شدن در لیست انتظار قرار می‌گیرد.

۵. در صورتی که تراکنش توسط اعضای شبکهٔ همتابه‌همتا تأیید نشود، فرایند خاتمه یافته و به اطلاع دستگاه درخواست‌کننده خواهد رسید.

۶. زمانی که تراکنش تأییدشده‌ای موجود باشد، اعلانی برای تنظیم اندازه و زمان ساخت بلاک ارسال می‌شود.

۷. برای تنظیم اندازه و زمان ساخت بلاک، درخواست تنظیم همراه حالات کنونی

سیستم شامل متوسط اندازهٔ تراکنش، توان محاسباتی دستگاه‌های اینترنت اشیای عضو شبکهٔ بلاکچین و نرخ انتقال بین دو دستگاه اینترنت اشیا برای عامل توصیه‌گر ارسال می‌شود (Liu et al. 2019). حالات ارسال‌شده، ورودی بخش سیاست‌گذاری به‌منظور افزایش گذردهی هستند.

۸. عامل توصیه‌گر توسط یادگیری «کیو» که با شبکهٔ عصبی بازگشتی تجهیز شده است، اندازه و زمان ساخت بلاک را در جهت افزایش گذردهی تنظیم می‌کند.

۹. پس از تنظیم شدن اندازه و زمان ساخت بلاک، اطلاعیهٔ آمادگی شروع استخراج برای استخراج‌کننده‌ها ارسال می‌شود.

۱۰. استخراج‌کننده‌ها برای تصمیم‌گیری در مورد نحوهٔ انجام عملیات استخراج (توسط خود دستگاه یا واگذاری به لایهٔ محاسبات لبهٔ موبایل) درخواستی را برای عامل توصیه‌گر ارسال می‌کنند. این درخواست با حالت کنونی سیستم شامل تراکنش‌های موجود در سیستم، قدرت کانال بی‌سیم بین دستگاه استخراج‌کننده و سِرور محاسبات لبهٔ موبایل و میزان انرژی محاسباتی دستگاه همراه است (Nguyen et al. 2020). این حالات ورودی بخش سیاست‌گذاری نحوهٔ انجام وظایف با هدف کمینه ساختن تأخیر و انرژی مصرفی است.

۱۱. عامل توصیه‌گر توسط یادگیری «کیو» که با شبکهٔ عصبی بازگشتی تجهیز شده است، شیوهٔ مناسب انجام فرایند استخراج برای استخراج‌کننده با هدف کمینه ساختن تأخیر و انرژی را انتخاب می‌کند.

۱۲. پس از تنظیم سیاست‌ها، تراکنش در بلاک قرار می‌گیرد و محتویات بلاک توسط تابع هش، الگوریتم رمزنگاری و درخت «مرکل» رمز می‌شود.

۱۳. دستگاه‌های اینترنت اشیا به رقابت می‌پردازند و طی فرایند اجماع، سازندهٔ بلاک مشخص می‌شود.

۱۴. بلاک ساخته‌شده برای تصدیق در شبکهٔ همتابه‌همتا منتشر می‌شود.

۱۵. در صورت تأیید بلاک، بلاک به زنجیره اضافه و تراکنش انجام می‌شود.

۱۶. در صورت عدم تأیید بلاک، فرایند خاتمه می‌یابد.

۱۷. در پایان هر دورِ انجام تراکنش، گزارشی از سوی سیستم بلاکچین و هر استخراج‌کننده برای عامل توصیه‌گر ارسال می‌شود. گزارش به‌صورت دنباله (حالت، عمل، پاداش، حالت بعدی) است که نشان می‌دهد در حالت $s^t$ و با عمل $a^t$ میزان پاداش

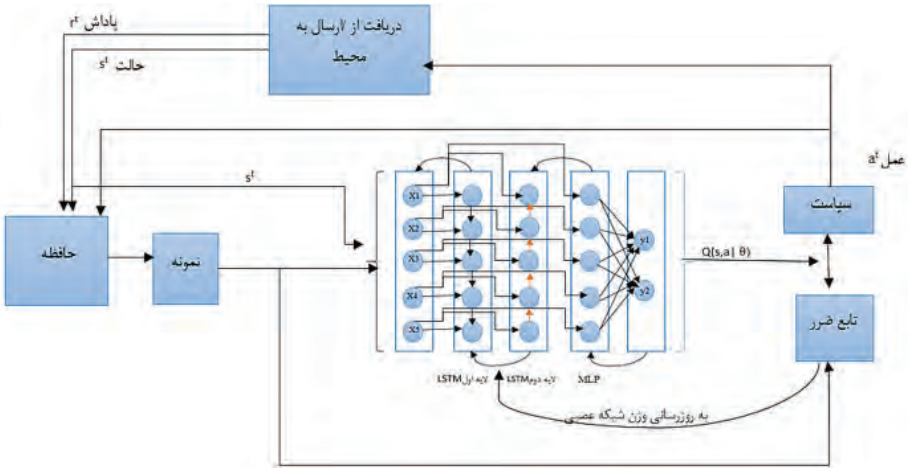
یـا ضـرر دریافتـی چقـدر اسـت و حالـت بعـدی را کـه بـا انجـام عمـل $a^t$ بـه آن خواهیـم رفـت، نشـان می‌دهـد. پـاداش یـا ضـرر دریافتـی در قسـمت تنظیمـات بلاکچیـن نشـان‌دهندهٔ میـزان گذردهـی کسب‌شـده بـا انـدازه و زمـان سـاخت بـلاک تنظیم‌شـده اسـت. پـاداش در هـر اسـتخراج‌کنندهٔ منفـی مجمـوع تأخیـر و انـرژی مصرفـی اسـت و بـا بزرگ‌تـر شـدن میـزان انـرژی و تأخیـر، میـزان پـاداش نیـز کاهـش می‌یابـد. گـزارش ارسال‌شـده در حافظـهٔ قسـمت‌های مربـوط در بخـش سیاسـت‌گذاری ذخیـره می‌شـود و بـرای آمـوزش شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد.

۱۸. فرایند خاتمه می‌یابد.

### ٤-۳. نحوهٔ کار عامل توصیه‌گر

سیسـتم توصیه‌گـر در ایـن مـدل، در حقیقـت یـک عامـل توصیه‌گـر اسـت کـه از یادگیـری تقویتـی عمیـق اسـتفاده می‌کنـد. در بخـش یادگیـری تقویتـی عمیـق از یادگیـری «کیـو» که توسـط یـک شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی تجهیـز شـده اسـت، اسـتفاده می‌کنیـم. شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی عـلاوه بـر حـل مشـکل یادگیـری «کیـو» در مسـایل بـا ابعـاد بـالا، امـکان حفـظ وابسـتگی‌های بلندمـدت در آن را نیـز دارد (Chen, Ying & Laird 2016). شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی بـر خـلاف شـبکهٔ عصبـی شـامل یـک حلقـهٔ بازگشـتی اسـت کـه موجـب می‌شـود اطلاعاتـی کـه از قبـل بـه دسـت آمده‌انـد در شـبکه بماننـد و از بیـن نرونـد (Sherstinsky 2020). بنابرایـن، شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی قـادر اسـت اطلاعـات گذشـته را حفـظ کنـد و از آن‌هـا بـرای پیش‌بینـی بهتـر مقادیـر «کیـو» اسـتفاده کنـد (Chen, Ying and Laird 2016).

مطابـق شـکل ۴، رونـد عامـل توصیه‌گـر مبتنـی بـر یادگیـری تقویتـی عمیـق در مـدل ارائه‌شـده بـه ایـن صـورت اسـت کـه ابتـدا، حالـت از محیـط دریافـت می‌شـود و عملـی کـه میـزان ارزش تابـع «کیـو» را بـه حداکثـر برسـاند، توسـط شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی انتخـاب می‌گـردد (در صـورت نبـودِ عمـل متناسـب بـا حالـت، عملـی به‌صـورت تصادفـی انجـام می‌شـود). عمـل در محیـط انجـام می‌شـود و پـاداش دریافـت می‌شـود. دنبالـه (حالـت، عمـل، پـاداش، حالـت بعـدی) در حافظـه ذخیـره می‌شـود. به‌صـورت تصادفـی از دسـتهٔ کوچکـی از تراکنش‌هـای موجـود در حافظـه بـرای آمـوزش شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی نمونه‌بـرداری می‌شـود. شـبکهٔ عصبـی بازگشـتی بـا به‌روزرسـانی مکـررِ وزن شـبکه بـرای بـه حداقـل رسـاندن تابـع ضـرر، آمـوزش داده می‌شـود.




**شکل ٤. عامل توصیه‌گر مبتنی بر یادگیری تقویتی عمیق**

در بخش استفاده از یادگیری تقویتی در پیدا کردن سیاست بهینه در نحوهٔ انجام وظایف استخراج تراکنش‌های موجود برای پردازش، میزان انرژی محاسباتی دستگاه استخراج‌کننده‌ها و قدرت کانال بی‌سیم بین دستگاه استخراج‌کننده و لبهٔ محاسباتی موبایل دریافت می‌شود. سیاست‌ها باید به‌گونه‌ای تنظیم شوند که عملی در هر مرحله انتخاب شود که میزان انرژی و زمان مصرفی انجام وظیفهٔ استخراج حداقل شود. زمان مصرفی واگذاری وظایف به لایهٔ محاسباتی لبهٔ موبایل شامل تأخیر بارگذاری یک وظیفه به لبهٔ محاسباتی موبایل، تأخیر صف که بیانگر میزان زمانی است که وظیفه باید برای پردازش در انتظار بماند و تأخیر پردازش یک وظیفه توسط لبهٔ محاسباتی موبایل است. انرژی مصرفی برای واگذاری وظایف به لبهٔ محاسباتی موبایل شامل انرژی صرف‌شده برای بارگذاری وظایف به لبهٔ محاسباتی موبایل، انرژی لازم برای پردازش وظیفه، و انرژی لازم برای اجرای لبهٔ محاسباتی موبایل است. در صورتی که دستگاهی بخواهد وظایفش را خود به‌صورت محلی انجام دهد، میزان زمان و انرژی مصرفی شامل میزان زمانی که برای پردازش هر بیت داده صرف می‌شود و میزان انرژی صرف‌شده برای پردازش هر بیت داده است (Nguyen et al. 2020).

در بخش استفاده از یادگیری تقویتی عمیق برای افزایش گذردهی ابتدا، حالت کنونی محیط شامل اندازهٔ تراکنش، توان محاسباتی دستگاه‌های اینترنت اشیای موجود در شبکهٔ بلاکچین، نرخ انتقال بین دستگاه‌های مختلف اینترنت اشیا دریافت می‌شود.

سیاست‌ها باید به‌گونه‌ای تنظیم شوند که گذردهی افزایش پیدا کند. برای افزایش گذردهی می‌توان اندازهٔ بلاک را افزایش و زمان ساخت بلاک را کاهش داد. به‌صورت کلی، زمانی که برای پردازش داده‌ها و اضافه‌شدن یک بلاک جدید به زنجیره صرف می‌شود، شامل زمان تولید بلاک جدید، زمان منتشر شدن بلاک و زمان تصدیق آن است. با افزایش اندازهٔ بلاک به‌دلیل افزایش تراکنش‌های هر بلاک، انتقال بلاک زمان بیشتری مصرف کرده و تأخیر کل افزایش پیدا می‌کند (Nguyen et al. 2020). به این منظور برای دستیابی به تأخیر مطلوب در شبکهٔ اینترنت اشیا فرض می‌کنیم که بلاک‌ها باید در فواصل معینی صادر و تصدیق شوند و فاصلهٔ زمانی تأیید نهایی یک بلاک و اضافه‌شدن به زنجیرهٔ بلاکچین باید از فاصلهٔ زمانی تولید بلاک کمتر باشد. به بیان دیگر، بلاکی که زودتر تولید شده، عملیات پردازش آن باید قبل از تولید بلاک دیگر به پایان برسد. در صورتی که این شرط محقق نشود، پاداش صفر تعلق می‌گیرد (Liu et al. 2019). از آنجا که الگوریتم برای افزایش گذردهی در صدد کاهش زمان ساخت بلاک است، بنابراین، این شرط باعث می‌شود که اندازهٔ بلاک طوری تعیین شود که میزان تأخیر انتقال افزایش نیافته و در نتیجه، تأخیر ساخت افزایش نیابد.

### ۵. ارزیابی

برای ارزیابی نقاط قوت و ضعف مدل پیشنهادی از روش طراحی اصل‌محور (اصل واحد) استفاده می‌کنیم. این روش برای ارزیابی طراحی سیستم‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که ادغام دو سیستم بلاکچین با اینترنت اشیا یک سیستم پیچیده ایجاد خواهد کرد (Viriyasitavat et al. 2019)، از این روش برای ارزیابی مدل استفاده خواهد شد. روش اصل واحد شامل یک اثر متقابل بین آنچه می‌خواهیم به‌دست آوریم و شیوهٔ دستیابی به آن است. در این مدل آنچه می‌خواهیم به‌دست آوریم، الزامات عملکردی[1] (FR) نامیده می‌شوند که بر اساس نیازهای مشتری تعیین می‌شوند. شیوهٔ دستیابی به الزامات عملکردی توسط پارامترهای طراحی[2] (DP) مشخص می‌شود. رابطه بین الزامات عملکردی و پارامترهای طراحی به‌صورت یک ماتریس طراحی [A] نمایش داده می‌شود. عبارت (۱)، یک ماتریس طراحی را نشان می‌دهد که در آن FR به لازمه‌های عملکردی و

1. functional requirements 2. Design parameters

DP بـه راه‌حـل ارائه‌شـده اشـاره دارد.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{pmatrix} \quad (۱)$$

روش اصـل واحـد به‌عنـوان یـک رویکـرد سیسـتماتیک بـرای توسـعهٔ برنامه‌هـای اینترنـت اشـیا بـه دلایـل فقـدان مـدل ارزیابـی جامـع کـه بتوانـد تمامـی پارامترهـای طراحـی را در نظـر بگیـرد و همچنیـن معیارهایـی کـه بتوانـد پارامترهـای طراحـی (FR) مختلـف بـرای حـل یـک لازمـهٔ عملکـردی (DP) را مقایسـه کنـد، آمـاده اسـتفاده نیسـت (همـان). بـه همیـن دلیـل، در ایـن پژوهـش مـا از روش اصـل واحـد تنهـا بـرای نگاشـت لازمه‌هـای عملکـردی بلاکچیـن در اینترنـت اشـیا و پارامترهـای طراحـی ارائـه شـده توسـط مـدل پیشـنهادی بـرای بهبـود ایـن چالش‌هـا و بـدون ارزیابـی کارایـی اسـتفاده می‌کنیـم.

در ایـن پژوهـش مـا چالش‌هـای ادغـام بلاکچیـن و اینترنـت اشـیا را به‌عنـوان لازمه‌هـای عملکـردی (کـه در صـدد رفـع آن‌هـا هسـتیم) و راه‌حل‌هـای مـدل پیشـنهادی را به‌عنـوان پارامترهـای طراحـی در نظـر می‌گیریـم. چالش‌هـای ادغـام اینترنـت اشـیا و بلاکچیـن را می‌تـوان بـه دو دسـته تقسـیم کـرد: دستهٔ اول، چالش‌هایـی هسـتند کـه ناشـی از ترکیـب فنـاوری بلاکچیـن بـا اینترنـت اشـیا هسـتند (F1) و دستهٔ دوم، چالش‌هایـی هسـتند کـه به‌صـورت ذاتـی در بلاکچیـن وجـود دارنـد و بـا ادغـام در اینترنـت اشـیا بـه آن سـرایت می‌کننـد (F2). چالش‌هـای تأخیـر، گذردهـی، نیـاز بـه تـوان و حافظـهٔ بـالا در زمـان ادغـام بلاکچیـن و اینترنـت اشـیای خـود را نشـان می‌دهنـد (Dorri et al. 2019) و در حالـی کـه چالش‌هـای امنیتـی (ماننـد حمـلات ۵۱ درصـد)، حفـظ همزمـان حریـم شـخصی و شـفافیت و مقیاس‌پذیـری چالش‌هـای موجـود در بلاکچیـن اسـت (Liu et al. 2020). بـر ایـن اسـاس، جـدول ۲، لازمه‌هـای عملکـردی و جـدول ۳، پارامترهـای طراحـی را نشـان می‌دهـد.

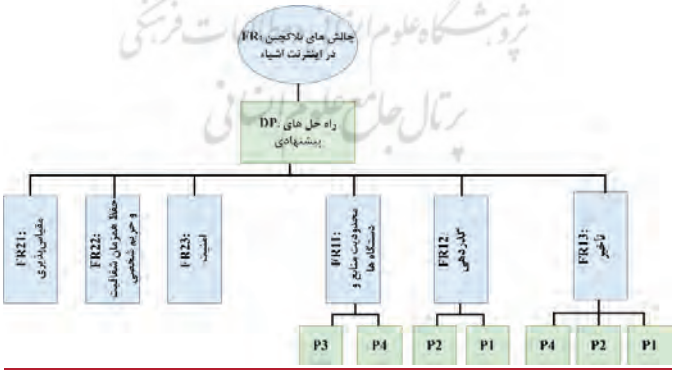
**جدول ۲. لازمه‌های عملکردی ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین**

| لازمه‌های عملکردی | نماد |
|---|---|
| محدودیت منابع در اینترنت اشیا | F11 |
| گذردهی | F12 |
| تأخیر | F13 |
| مقیاس‌پذیری | F21 |
| حفظ همزمان شفافیت و حریم شخصی | F22 |
| امنیت | F23 |

**جدول ۳. پارامترهای طراحی**

| راه‌حل‌های ارائه‌شده | نماد |
|---|---|
| تنظیم اندازهٔ بلاک توسط عامل توصیه‌گر | P1 |
| تنظیم زمان ساخت بلاک توسط عامل توصیه‌گر | P2 |
| استفاده از لبهٔ محاسباتی برای انجام وظایف محاسباتی و ذخیره‌سازی | P3 |
| تنظیم رویکرد بهینهٔ استخراج توسط عامل توصیه‌گر | P4 |

نگاشت الزامات عملکردی و پارامترهای طراحی در مدل پیشنهادی مطابق شکل ۵ است.




**شکل ۵. نگاشت الزامات عملکردی و پارامترهای طراحی**

عامل توصیه‌گر با تنظیم اندازهٔ بلاک (P1) باعث بهبود گذردهی (FR12) می‌شود و

همچنین، با استفاده از ایجاد تعادل بین اندازهٔ بلاک و تأخیر می‌تواند باعث بهبود تأخیر (FR13) شود. انتخاب مناسب زمان ساخت بلاک توسط عامل توصیه‌گر (P2) باعث بهبود گذردهی (FR12) و همچنین، به‌دلیل کاهش زمان ساخت بلاک، باعث بهبود تأخیر (FR13) می‌شود. از سوی دیگر، استفاده از لبهٔ محاسباتی برای انجام وظایف پردازشی و ذخیره‌سازی (P3) این امکان را فراهم می‌سازد که آن دسته از دستگاه‌هایی که توان و حافظهٔ کافی ندارند، وظایف خود را به آن واگذار کنند و مشکلی از این بابت برای مدیریت بلاکچین نداشته باشند (FR11). عامل توصیه‌گر با اتخاذ بهترین رویکرد استخراج برای دستگاه‌ها (PS4) این امکان را فراهم می‌سازد که دستگاه‌ها در صورت نداشتن توان کافی وظایف خود را واگذار کنند (FR11). همچنین، انتخاب بهترین رویکرد استخراج باعث کمینه شدن تأخیر (FR13) و انرژی در این فرایند خواهد شد. به این ترتیب، ماتریس طراحی حاصل از عبارت (۱) به‌صورت عبارت (۲) خواهد بود.

(۲)

$$\begin{array}{c} \\ P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} F11 & F12 & F13 & F21 & F22 & F23 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

همان‌طور که ماتریس فوق نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی در زمینهٔ بهبود چالش‌هایی که در سطح ادغام بلاکچین و اینترنت اشیا ایجاد شده‌اند، از نظر منطقی موفق عمل می‌کند، اما در زمینهٔ چالش‌هایی که مربوط به ساختار بلاکچین هستند، مورد توجه قرار نگرفته‌اند. در پژوهش‌های آتی مدل را برای بهبود این چالش‌ها نیز توسعه می‌دهیم.

## ٦. بحث و نتیجه‌گیری

بلاکچین به‌دلیل خصوصیات ذاتی از قبیل رمزنگاری، شفافیت، تغییرناپذیری و عدم تمرکز، راه‌حلی کلیدی برای بهبود آسیب‌پذیری‌های امنیتی اینترنت اشیاست. با وجود این، ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین دارای چالش‌هایی از قبیل تأخیر، مقیاس‌پذیری، گذردهی و محدودیت توان و حافظهٔ دستگاه‌های اینترنت اشیاست. یادگیری تقویتی عمیق به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی راه‌حل مناسبی برای حل مشکلات ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین است. در این پژوهش ضمن بررسی آثار موجود در زمینهٔ استفاده از هوش مصنوعی در بهبود چالش‌های بلاکچین، مدل نوینی با استفاده از یادگیری تقویتی

عمیق برای افزایش گذردهی با قابلیت استفاده در دستگاه‌های اینترنت اشیا با توان محدود پیشنهاد شد. در این مدل با استفاده از یک عامل توصیه‌گر در هر مرحله به‌صورت پویا، اندازه و زمان ساخت بلاک به‌منظور افزایش گذردهی و همچنین، تصمیم‌گیری رویکرد بهینهٔ انجام وظایف استخراج برای استخراج‌کننده تعیین می‌شود. معماری منطقی و فرایند کار بخش‌های مختلف مدل ذکرشده به تفصیل بررسی شده و سرانجام، جدول ۴، مدل ارائه‌شده را از نظر بهبود چالش‌های ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین با چندین مدل معروف مقایسه می‌کند.

در نهایت، مدل پیشنهادی برای حل چالش‌های ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین توسط تئوری اصل واحد مورد ارزیابی قرار گرفته است. طبق این ارزیابی راه‌حل‌های ارائه‌شده توسط این مدل در بهبود چالش تأخیر، گذردهی و بهبود کارایی اینترنت اشیا با توان محدود تأثیر مثبت دارد، ولی در زمینهٔ بهبود مقیاس‌پذیری، حریم شخصی و امنیت نیاز به توسعه دارد. توسعه و بهبود چالش‌هایی که در مدل پیشنهادی مطرح نشده‌اند و همچنین، پیاده‌سازی مدل پیشنهادی گزینه‌های مناسبی برای تحقیقات آتی هستند.

**جدول ٤. مقایسهٔ روش‌های پیشنهادی برای بهبود چالش‌های ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین**

| مرجع (نویسنده، سال) | ویژگی‌های مدل | چالش‌های بهبودیافته | رویکرد روش مورد استفاده | | اینترنت اشیای مورد توجه در مدل | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ایستا | پویا | بدون محدودیت منابع | دارای محدودیت منابع |
| Dorri et al. 2019 | بهینه‌سازی ترکیبی با ایجاد یک الگوریتم اجماع مبتنی بر زمان، اعتماد و اطمینان توزیع‌شده، استراتژی مدیریت گذردهی توزیع‌شده و جداسازی ترافیک تراکنش از جریان داده‌ها | گذردهی، تأخیر، مقیاس‌پذیری | ✓ | | | ✓ |
| Biswas et al. 2018 | استفاده از شبکهٔ محلی همتابه‌همتا. در واقع، با ایجاد یک دفتر کل محلی مقیاس‌پذیر تراکنش‌های ورودی به داخل دفتر کل عمومی را محدود می‌کند. | مقیاس‌پذیری، گذردهی | ✓ | | | ✓ |

| مرجع (نویسنده، سال) | ویژگی‌های مدل | چالش‌های بهبودیافته | رویکرد روش مورد استفاده | | اینترنت اشیای مورد توجه در مدل | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ایستا | پویا | بدون محدودیت منابع | دارای محدودیت منابع |
| Mohanty et al. 2020 | بهینه‌سازی ترکیبی توسط الگوریتم اجماع سبک، رمزنگاری بدون گواهی و مدیریت گذردهی توزیع‌شده | گذردهی، تأخیر، مقیاس‌پذیری | ✓ | | | ✓ |
| Liu et al. 2019 | افزایش مقیاس‌پذیری در بلاکچین با استفاده ایجاد تعادل بین تأخیر، امنیت و توزیع‌شدگی | مقیاس‌پذیری، تأخیر، امنیت | | ✓ | ✓ | |
| Nguyen et al. 2020 | ارائهٔ مدلی بهینه و با حفظ حریم شخصی برای واگذاری وظایف استخراج و دیگر وظایف محاسباتی دستگاه‌های موبایل به لبهٔ محاسباتی با استفاده از یادگیری تقویتی عمیق | کارایی اینترنت اشیا با منابع محدود، تأخیر، حریم شخصی | | ✓ | | ✓ |
| مدل پیشنهادی | استفاده از یک عامل توصیه‌گر مجهز به یادگیری تقویتی عمیق برای اتخاذ بهترین اندازه و زمان ساخت بلاک و همچنین، انتخاب رویکرد بهینه برای انجام فرایند استخراج با توجه به انرژی محاسباتی هر دستگاه و مورد نیاز | کارایی اینترنت اشیا با منابع محدود، تأخیر، گذردهی | | ✓ | ✓ | ✓ |

مطابق جدول ۴، مدل پیشنهادی افزون بر مزیت پویایی در هر دو مدل اینترنت اشیا با محدودیت و بدون محدودیت منابع قابل استفاده است. پویایی مدل بر این موضوع دلالت دارد که عامل توصیه‌گر با بازخوردی که از محیط می‌گیرد، خود را با آن سازگار می‌سازد و عمل مناسب، شامل اندازه و زمان ساخت بلاک و همچنین، نحوهٔ استخراج را اتخاذ می‌کند. در روش‌های ایستا شرایط محیطی و ویژگی دستگاه‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شوند و از یک سیاست واحد برای بهبود ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین استفاده می‌شود؛ در حالی که در صورت تغییر نوع دستگاه‌ها، کارایی مدل افت می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر یک روش ایستا با دستگاه‌هایی که با تعداد تراکنش بالا، ولی اندازهٔ کم طراحی شده باشد، اندازه و زمان ساخت بلاک را مطابق آن تنظیم می‌کند و تعدادی تراکنش را در هر بلاک قرار می‌دهد تا گذردهی افزایش یابد. سپس، در صورتی که دستگاه با دستگاه دیگری که در آن نرخ تراکنش کم، ولی اندازهٔ هر تراکنش بالاست،

جایگزین شود، مدل منتظرِ سایر تراکنش‌ها برای ارسال بلاک می‌ماند و باعث تأخیر و همچنین، کاهش گذردهی می‌شود. در مدل پیشنهادی عامل توصیه‌گر اندازه و زمان ساخت بلاک را در هر تکرار به‌صورتی به‌روزرسانی می‌کند که گذردهی افزایش یابد. از سوی دیگر، دستگاه‌هایی که حافظه و توان پردازشی محدودی دارند، نمی‌توانند خودشان در مدیریت بلاکچین به‌صورت مستقیم شرکت کنند. بنابراین، می‌توانند از دو روش جایگزین واگذاری وظایف به لایهٔ ابر و یا ارسال تراکنش‌ها برای نمایندگانی که محدودیت منابع ندارند، استفاده کنند. این در صورتی است که دستگاه‌های بدون محدودیت منابع ترجیح می‌دهند خودشان وظایفشان را انجام دهند تا از مشکلاتی مانند تأخیر و همچنین، نفوذ اطلاعات در انتقال تراکنش جلوگیری کنند. در روش‌های ایستا بیشتر یکی از این دو مدل دستگاه‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد و در صورت تغییر دستگاه به مدل دیگر کارایی مدل کاهش می‌یابد. در مدل پیشنهادی از لایهٔ لبهٔ محاسباتی پشتیبانی می‌شود. عامل توصیه‌گر با دریافت انرژی محاسباتی مورد نیاز برای هر وظیفه و همچنین، انرژی دستگاه نحوهٔ بهینهٔ فعالیت استخراج را مشخص می‌کند. در واقع، این امکان را فراهم می‌سازد که دستگاه‌هایی که توان پایین‌تری از مقدار مورد نیاز دارند وظایفشان را به لایهٔ لبهٔ محاسباتی واگذار کنند و دستگاه‌هایی که توان کافی دارند، خودشان به‌صورت محلی وظایفشان را انجام دهند.

در محیط‌های واقعی و خارج از شرایط آزمایشگاهی نیز دستگاه‌هایی با ویژگی‌های متفاوتی همچون نرخ تراکنش، اندازهٔ تراکنش، حافظه، توان محاسباتی و غیره استفاده می‌شوند. بنابراین، روش‌های ایستا که فقط نوع خاصی از این دستگاه‌ها را دربرمی‌گیرند، در شرایط واقعی کارایی مطلوبی نخواهند داشت. از سوی دیگر، پیدا کردن مقادیر بهینه برای پارامترهایی مانند اندازه و زمان ساخت بلاک و همچنین، نحوهٔ انجام وظایف استخراج به‌صورت آزمون و خطا بسیار زمان‌بر و مشکل است و همچنین، لزوماً بهینه‌ترین مقدار را ارائه نمی‌کند. مدل پیشنهادی در این پژوهش می‌تواند به‌صورت خودکار و بدون دخالت نیروی انسانی بهینه‌ترین عمل را متناسب با شرایط دستگاه اتخاذ کند. مدل پیشنهادی می‌تواند در حوزه‌های کاربردی متنوعی که شامل دستگاه‌های مختلف است، تسهیلات ایجاد کند. زنجیرهٔ تأمین نمونهٔ مناسبی است که می‌تواند از مزایای مدل پیشنهادی بهره‌مند شود. یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین جهانی شامل بسیاری از ذی‌نفعان مانند کارگزاران، ارائه‌دهندگان مواد اولیه و غیره است که این تعدد بازیگران باعث پیچیدگی زیاد در

ارتباطات می‌شود. با توجه به مشارکت چندین ذی‌نفع، تأخیرهای تحویل به بزرگ‌ترین چالش تبدیل می‌شوند. بنابراین، شرکت‌ها در حال کار روی ساخت وسایل نقلیه با قابلیت استفاده از اینترنت اشیا برای ردیابی حرکت در طی فرایند حمل‌ونقل هستند. به‌دلیل عدم شفافیت و عوارض موجود در زنجیرهٔ تأمین فعلی و لجستیک، ترکیب بلاکچین و اینترنت اشیا می‌تواند به افزایش قابلیت اطمینان و قابلیت ردیابی شبکه کمک کند. سنسورهای اینترنت اشیا مانند سنسورهای حرکتی، سنسورهای دما، اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه یا دستگاه‌های متصل، جزئیات واضحی را دربارهٔ وضعیت حمل‌ونقل ارائه می‌دهند. اطلاعات سنسور سپس، در بلاکچین ذخیره می‌شود. پس از ذخیرهٔ داده‌ها در بلاکچین، ذی‌نفعان ذکرشده در قراردادهای هوشمند به زمان واقعی به اطلاعات دسترسی پیدا می‌کنند و بر این اساس، اقدامات لازم را انجام می‌دهند. نوع دستگاه‌های مورد استفاده در زنجیرهٔ تأمین متفاوت هستند. به‌عنوان مثال، دستگاه‌های اینترنت اشیای موجود در کارخانه‌ها از نظر توان پردازشی و حافظه بسیار قوی‌تر از سنسورهای رهگیری محصولات هستند و همچنین، به‌دلیل تعامل بالا در محیط عملیاتی تعداد تراکنش‌های بیشتری نیز تولید می‌کنند. در صورتی که از روش ایستا برای بهبود ادغام اینترنت اشیا و بلاکچین در زنجیرهٔ تأمین استفاده شود، باید یکی از انواع دستگاه‌ها را مبنا قرارداد. اما با رویکرد پویا می‌توان پاسخگوی انواع دستگاه‌های اینترنت اشیا در سطوح مختلف زنجیرهٔ تأمین بود. استفاده از رویکرد پویا در زنجیرهٔ تأمین باعث افزایش گذردهی و همچنین، کارایی دستگاه‌ها می‌شود. با استفاده از این روش سرعت فعالیت‌های مختلف در زنجیرهٔ تأمین و همچنین، سرعت فرایند تولید محصول تا رسیدن به مشتری افزایش می‌یابد. در نتیجه، افزایش سرعت فعالیت‌ها در زنجیرهٔ باعث افزایش سود کلی می‌شود (Manupati et al. 2020).

## فهرست منابع

زرگر، سید محمد. ۱۳۹۸. ارزیابی موانع به‌کارگیری اینترنت اشیا در کتابخانه‌های ایران بر اساس یک رویکرد ترکیبی. *پژوهشنامه پردازش و مدیریت اطلاعات* ۳۴ (۳): ۱۳۷۱-۱۳۹۸.

## References

Alkadi, O., N. Moustafa, B. Turnbull, & K. K. R. Choo. 2020. A deep blockchain framework-enabled collaborative intrusion detection for protecting IoT and cloud networks. *IEEE Internet of Things Journal* 8 (12): 9463-9472.

Biswas, S., K. Sharif, F. Li, B. Nour, & Y. Wang. 2018. A scalable blockchain framework for secure transactions in IoT. *IEEE Internet of Things Journal* 6 (3): 4650-4659.

Chen, C., V. Ying, & D. Laird. 2016. Deep q-learning with recurrent neural networks. *Stanford Cs229 Course Report*, 4: 3.

Dinh, T. N., & M. T. Thai. 2018. Ai and blockchain: A disruptive integration. *Computer* 51 (9): 48-53.

Dorri, A., S. S. Kanhere, R. Jurdak, & P. Gauravaram. 2019. LSB: A Lightweight Scalable Blockchain for IoT security and anonymity. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 134: 180-197.

Dwivedi, A. D., G. Srivastava, S. Dhar, & R. Singh. 2019. A decentralized privacy-preserving healthcare blockchain for IoT. *Sensors* 19 (2): 326.

Garcia, F., and E. Rachelson. 2013. Markov decision processes. In *Markov decision processes in artificial intelligence*, 1-38. Hoboken: John Wiley & Sons.

Herrera-Joancomartí, J. & C. Pérez-Solà. 2016. Privacy in bitcoin transactions: new challenges from blockchain scalability solutions. International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence: 26-44. Sant Julià de Lòria, Andorra.

Ismail, L., Materwala, H. and Zeadally, S. 2019. Lightweight blockchain for healthcare. *IEEE Access*, 7: 149935-149951.

Jameel, F., U. Javaid, W. U. Khan, M. N. Aman, H. Pervaiz, & R. Jäntti. 2020. Reinforcement learning in blockchain-enabled IIoT networks: A survey of recent advances and open challenges. *Sustainability*, 12 (12): 5161.

Khalid, U., M. Asim, T. Baker, P. C. Hung, M. A. Tariq, & L. Rafferty. 2020. A decentralized lightweight blockchain-based authentication mechanism for IoT systems. *Cluster Computing* 23 (3): 1-21.

Kshetri, N. 2019. Complementary and Synergistic Properties of Blockchain and Artificial Intelligence. *IT Professional* 21 (6): 60-65.

Kumar, N. M., & P. K. Mallick. 2018. Blockchain technology for security issues and challenges in IoT. *Procedia Computer Science* 132: 1815-1823.

Liu, M., F. R. Yu, Y. Teng, V. C. Leung, & M. Song. 2019. Performance optimization for blockchain-enabled industrial Internet of Things (IIoT) systems: A deep reinforcement learning approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 15 (6): 3559-3570.

Liu, Y., F. R. Yu, X. Li, H. Ji, & V. C. Leung. 2020. Blockchain and machine learning for communications and networking systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 22 (2): 1392-1431.

Manupati, V. K., T. Schoenherr, M. Ramkumar, S. M. Wagner, S. K. Pabba, & R. Inder Raj Singh. 2020. A blockchain-based approach for a multi-echelon sustainable supply chain. *International Journal of Production Research* 58 (7): 2222-2241.

Mohanty, S. N., K. C. Ramya, S. S. Rani, D. Gupta, K. Shankar, S. K. Lakshmanaprabu, & A. Khanna. 2020. An efficient Lightweight integrated Blockchain (ELIB) model for IoT security and privacy. *Future Generation Computer Systems*, 102: 1027-1037.

Moin, S., A. Karim, Z. Safdar, K. Safdar, E. Ahmed, & M. Imran. 2019. Securing IoTs in distributed blockchain: Analysis, requirements and open issues. *Future Generation Computer Systems* 100: 325-343.

Nguyen, D. C., P. N. Pathirana, M. Ding, & A. Seneviratne. 2020. Privacy-preserved task offloading in mobile blockchain with deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Network and Service Management* 17 (4): 2536-2549.

Rathore, S., B. W. Kwon, & J. H. Park. 2019. BlockSecIoTNet: Blockchain-based decentralized security architecture for IoT network. *Journal of Network and Computer Applications* 143: 167-177.

Sherstinsky, A. 2020. Fundamentals of recurrent neural network (RNN) and long short-term memory (LSTM) network. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 404: 132306.

Singh, S. K., S. Rathore, & J. H. Park. 2020. Blockiotintelligence: A blockchain-enabled intelligent IoT architecture with artificial intelligence. *Future Generation Computer Systems* 110: 721-743.

Tanwar, S., Q. Bhatia, P. Patel, A. Kumari, P. K. Singh, & W. C. Hong. 2019. Machine learning adoption in blockchain-based smart applications: The challenges, and a way forward. *IEEE Access* 8: 474-488.

Villegas-Ch, W., X. Palacios-Pacheco, & M. Román-Cañizares. 2020. Integration of IoT and Blockchain to in the Processes of a University Campus. *Sustainability* 12 (12): 4970.

Viriyasitavat, W., L. Da Xu, Z. Bi, & D. Hoonsopon. 2019. Blockchain technology for applications in internet of things—mapping from system design perspective. *IEEE Internet of Things Journal* 6 (5): 8155-8168.

Xiong, Z., Y. Zhang, N. C. Luong, D. Niyato, P. Wang, & N. Guizani. 2020. The best of both worlds: A general architecture for data management in blockchain-enabled Internet-of-Things. *IEEE Network* 34 (1): 166-173.

Yu, Y., Y. Li, J. Tian, & J. Liu. 2018. Blockchain-based solutions to security and privacy issues in the internet of things. *IEEE Wireless Communications* 25 (6): 12-18.

**الناز ربیعی‌نژاد**

متولد سال ۱۳۷۴، دانشجوی کارشناسی ارشد رشتهٔ مهندسی فناوری اطلاعات در دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی است.

بلاکچین، اینترنت اشیا، امنیت تجارت الکترونیک و همچنین، یادگیری ماشین از علایق پژوهشی وی است.

**شهریار محمدی**

دارای مدرک تحصیلی دکتری در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر از دانشگاه سالفورد انگلستان است. ایشان هم‌اکنون دانشیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی است.

امنیت در تجارت الکترونیک، رمزنگاری و رمزگشایی، پرداخت الکترونیک و ... از جمله علایق پژوهشی وی است.

**مهدی یادگاری**

متولد سال ۱۳۷۰، دانشجوی دکتری رشتهٔ مهندسی فناوری اطلاعات در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است.

بلاک‌چین، مباحث عدم قطعیت و شبکه‌های ادراکی فازی از جمله علایق پژوهشی وی است.